



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**POSOUZENÍ ENVIRONMENTÁLNÍ ZÁTĚŽE TECHNOLOGIÍ  
PRÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ**

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR POWDER COATING TECHNOLOGY

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Lukáš Havlíček**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Maria Krbalová, Ph.D.**

**BRNO 2018**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Lukáš Havlíček**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost  
Vedoucí práce: **Ing. Maria Krbalová, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Posouzení environmentální zátěže technologií práškového lakování**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Jakýkoliv výrobní proces během své realizace negativně ovlivňuje životní prostředí (emise škodlivých látek, odpady apod.). S přihlédnutím k cíli EU do konce roku 2050 vytvořit nízkouhlíkovou ekonomiku, bude s postupem času nezbytné hodnotit ekologickou zátěž každého výrobku a použité technologie. Práce je zaměřena na hodnocení zátěže životního prostředí technologií práškového lakování kovových výrobků.

### **Cíle diplomové práce:**

Analýza současného stavu ekologické legislativy v oblasti strojírenství.

Analýza současných technologií lakování kovů.

Popis technologie práškového lakování kovů.

Analýza materiálových a energetických vstupů spojených s jednotlivými kroky procesu práškového lakování kovů.

Analýzy dostupných metodik hodnocení zátěže životního prostředí.

Popis zvolené metodiky hodnocení zátěže životního prostředí.

Hodnocení environmentální zátěže způsobené procesem práškového lakování kovů.

Návrh opatření pro snížení environmentální zátěže během stanovených kroků procesu práškového lakování.

### **Seznam doporučené literatury:**

ČSN EN ISO 14040. Management životního prostředí - Hodnocení životního cyklu - Principy a rámec. Praha: Český normalizační institut, 2006.

KOČÍ, V.: Posuzování životního cyklu: Life Cycle Assessment – LCA. Vyd. 1 - Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009.

TAN, Zhongchao. Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basis Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control. Singapore: Springer, 2014. ISBN 978-981-278-211-1. (EN)

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Předložena diplomová práce se zabývá posouzením zátěže na životní prostředí technologií práškového lakování metodou LCA. V první části diplomové práce jsou popsány technologie povrchových úprav kovů. Následně byla provedena analýza technologie práškového lakování a vypracování technologického postupu této technologie. Součástí teoretické části práce je rovněž popis dostupných metodik posuzování dopadů na životní prostředí, na základě, kterého byla pro hodnocení ekologické zátěže procesem práškového lakování zvolena metoda hodnocení životního cyklu (LCA). V praktické části práce byla provedena analýza materiálových a energetických vstupů jednotlivých operací procesu práškového lakování, které posloužili k posouzení zátěže na životní prostředí.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis is focused on evaluating an environmental impact of using LCA methodology. LCA is a methodology of powder varnishing. The first part of the thesis is concerned with technologies modifying metal surfaces. An analysis of LCA technology was executed and a technological process was described. As a part of theoretical part, a description of available methods evaluating environmental impact was made. According to description the LCA methodology was chosen. In practical part of the thesis an analysis of material and energetic inputs of each process was made.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Práškové lakování, povrchové úpravy kovů, hodnocení životního cyklu (LCA), hodnocení dopadů.

## **KEYWORDS**

Powder coating, metal finishing, life cycle assessment (LCA), impact assessment.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HAVLÍČEK, L. *Posouzení enviromentální zátěže technologií práškového lakování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018, 79 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Maria Krbalová, Ph.D.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Marii Krbalové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Marii Krbalové, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....

Lukáš Havlíček



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU EKOLOGICKÉ LEGISLATIVY V OBLASTI STROJÍRENSTVÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1	Požadavky environmentální legislativy na proces lakování .....	20
<b>3</b>	<b>TECHNOLOGIE POVRCHOVÝCH ÚPRAVY KOVŮ .....</b>	<b>23</b>
3.1	Základní dělení povrchových úprav kovů .....	24
3.2	Současné technologie povrchných úprav kovů.....	26
3.2.1	Anorganické povlakové úpravy .....	26
3.2.2	Organické povlaky, tekuté nátěrové hmoty .....	28
<b>4</b>	<b>ORGANICKÉ POVLAKY, PRÁŠKOVÉ NÁTĚROVÉ HMOTY .....</b>	<b>31</b>
4.1	Nanášení PNH.....	33
4.2	Recyklace a zpracování odpadních PNH.....	35
4.3	Vytvrzování PNH .....	37
4.4	Příprava povrchu pro práškové lakování .....	39
4.4.1	Mechanické předúpravy .....	39
4.4.2	Chemická předúprava .....	42
<b>5</b>	<b>LABORATORNÍ ZKOUŠKY POVRCHOVÝCH ÚPRAV KOVŮ.....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>METODIKY PRO HODNOCENÍ ZÁTĚŽE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>47</b>
6.1	Metoda hodnocení environmentálních rizik (ERA).....	47
6.2	Metoda posuzování vlivů záměrů na životní prostředí (EIA).....	47
6.3	Metoda posuzování vlivů koncepcí na životní prostředí (SEA) .....	47
6.4	Metoda posuzování životního cyklu (LCA) .....	48
6.4.1	Aplikace metody posuzování životního cyklu.....	48
6.4.2	Přínosy LCA metody .....	51
<b>7</b>	<b>POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU .....</b>	<b>53</b>
7.1	Stanovení cílů a rozsah studie LCA.....	53
7.2	Materiálové a energetické vstupy – inventarizační analýza .....	54
7.2.1	Technologický proces práškového lakování a jeho vstupy .....	54
7.2.2	Údaje o vstupech .....	60
7.2.3	Software Boustead model 6.0 .....	63
7.2.4	Hodnocení negativních dopadů pomocí Boustead modelu 6.0 .....	64
7.3	Hodnocení negativních dopadů .....	72
7.4	Interpretace výsledků.....	75
7.4.1	Hodnocení kvality údajů metodou Weidema .....	76
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>79</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>80</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>85</b>
10.1	Seznam zkratk a symbolů .....	85
10.2	Seznam tabulek .....	86
10.3	Seznam obrázků.....	86
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>89</b>



# 1 ÚVOD

Strojírenský průmysl je pro lidstvo nepostradatelné odvětví, zabývá se návrhem a výrobou veškerých strojů a zařízení a je tak součástí téměř všech sfér lidského života. V posledních desetiletí zažívá oblast strojírenství velký rozmach. S tímto rozvojem je ale také spojeno narůstající množství škodlivých látek, které při strojírenské výrobě vzniká. Tyto nebezpečné látky tvoří nepředstavitelnou zátěž pro lidské zdraví, a především pro planetu Zemi. Z tohoto důvodu je kladen důraz na takový způsob rozvoje, nejen v měřítku lokálním, ale pokud možno v globálním, který povede k plnohodnotnému zachování životního prostředí. Měl by tedy být uplatňován takový princip trvale udržitelného rozvoje, který bude směřovat k tomu, aby budoucí generace přicházela do prostředí, pokud možno v co nejméně pozměněné podobě.

Strojírenská výroba je nemyslitelná bez použití kovu, proto neoddělitelnou součástí této výroby je povrchová úprava kovů.

I když strojírenství představuje nespočet technologií pro povrchovou úpravu kovů, technologie práškového lakování je ve své podstatě v dnešní době nezbytnou úpravou povrchu, ať už z hlediska ekologicky šetrné výroby, tak z důvodu dosažení požadované kvality povrchu. Tuto technologii je možné využívat jak v architektuře, tak pro průmyslové či spotřební zboží. Ukázky aplikace a využití práškového lakování jsou na obr. 1 a obr. 2.

I přesto, že práškové lakování je technologií ekologickou a z hlediska environmentu méně náročnou, nese si tato technologie povrchové úpravy kovů také určitou ekologickou zátěž. Především se jedná o uvolňování těkavých organických látek VOC a produkci práškového odpadu při lakování. Další ekologickou zátěž představuje např. výroba práškových barev a spotřeba energií při lakování. [8]

Pro ochranu životního prostředí by bylo velice užitečné, kdyby se ekologická výchova a ekologické vzdělávání staly nezastupitelnou složkou procesu přípravy vysokoškolsky vzdělaných odborníků. Životní prostředí totiž hraje důležitou roli v tržní ekonomice, neboť dodává suroviny do výrobního cyklu a zároveň slouží k ukládání všech druhů odpadů. [46][36]



Obr. 1 Ukázka využití práškového lakování na opláštění budovy v Mayfair v Londýně [21]



Obr. 2 Ukázka ručního nanášení práškové nátěrové hmoty [18]





## 2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU EKOLOGICKÉ LEGISLATIVY V OBLASTI STROJÍRENSTVÍ

Zákony na ochranu životního prostředí hrají významnou roli, protože jsou účinným nástrojem, kterým se dá kontrolovat a regulovat úroveň znečištění životního prostředí.

Politika na ochranu životního prostředí v České republice má pouze velmi krátkou historii, počátky kolem roku 1989. Před tímto obdobím platila pouze legislativa, která se zabývala ochranou vod. [2]

Stávající politika na ochranu životního prostředí, je již postavena na moderních demokratických postupech, které jsou pevně zakotveny v Ústavě ČR a Listině základních práv a svobod. Jedná se o politiku, která je řízena centrálně vládními institucemi a odvíjí se od centrálně stanovených limitů pro znečišťující látky. [6]

Při sestavování ekologické legislativy v České republice byl brán zřetel na již stávající modely, a především na zkušenosti s ekologickou legislativou ostatních zemí EU, kde se využívá tradičních modelů jako např. model za znečišťování životního prostředí se platí. Tyto modely obsahují progresivní systém sankcí a pokut, kdy například zohledňují výstavbu filtračních či odprašovacích zařízení. Následné poplatky za znečišťování při použití těchto zařízení jsou účtovány v omezené míře, a to v závislosti na použitých technologiích, které např. omezující vypouštění emisí. Obr. 3 poukazuje jak na čisté, tak na znečištění prostředí, kterému se v dnešní době snaží předcházet řadou různých omezení. [23]

Stálá finanční podpora novým ekologickým projektů je financována z již zmíněných pokut, sankcí za překročení limitů a peněz vybraných na platbách za znečišťování prostředí. [10]



Obr. 3 Čisté versus znečištěné prostředí [5]

Existuje mnoho různých metod regulace znečištění životního prostředí či produkce odpadu. Všechny používané metody jsou, avšak založeny na principu „za znečišťování se platí“. Z hlediska ekonomické efektivnosti jsou metody nastaveny tak, aby náklady spojené se zavedením

a provozováním regulace znečišťování byli nižší než škody, které by na životním prostředí vznikly. Důležitá je tedy především náhodná kontrola a dohled nad používáním a využíváním např. filtračních jednotek apod. [8]

V České republice nyní platí několik právních předpisů a vyhlášek, které se zabývají ekologickou legislativou. Níže je uveden přehled zákonů v této oblasti, které se týkají strojírenských objektů [6][23]:

- Životní prostředí – všeobecně
  - 17/1992 Sb., zákon o životním prostředí.
    - Zákon popisuje základní pojmy, stanovuje zásady ochrany životního prostředí a povinnosti objektů a osob při ochraně a zlepšování životního prostředí. Vychází z principu trvale udržitelného rozvoje. Vymezuje přestupky, pokuty a odpovědnost za porušení povinností při ochraně životního prostředí.
- Vodní hospodářství
  - 274/2001 Sb., zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů.
    - Zákon pojednává o užívání pitné vody a vypouštění vod do kanalizace z areálu společností. Stanovuje způsoby měření znečištěné odpadní vody vypouštěné do kanalizace. Dále stanovuje i přestupky a výši pokut.
- Odpadové hospodářství
  - 185/2001 Sb., zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů.
    - Zákon se zabývá nakládání s odpady, vymezuje zařazení odpadů dle kategorií. Pojednává o obecných povinnostech, balení a označování nebezpečného odpadu, uskladnění či likvidaci. Definuje nakládání s odpady vznikající u technologie práškového lakování.
  - 477/2001 Sb., zákon o obalech a o změně některých zákonů.
    - Zákon stanovuje podmínky uvádění obalů na trh, jejich správné značení, využití odpadů z obalů atd. U technologie práškového lakování dochází k balení finálního produktu a využívání vstupních surovin, kde obaly musí odpovídat tomuto předpisu.
- Ochrana ovzduší
  - 201/2012 Sb., zákon o ochraně ovzduší.
    - Zákon upravuje emisní požadavky na stacionární zdroje. Stanovuje přípustnou úroveň znečišťování a vymezuje hodnocení úrovně znečištění. Příloha tohoto zákona se zabývá stacionárními zdroji a emisní limity pro ochranu zdraví lidí a ovzduší. Součástí jsou i programy zlepšování kvality ovzduší a popis mimořádného stavu znečištění ovzduší. Ve strojírenství a tím i při práškovém lakování dochází k uvolňování těkavých organických látek a tento zákon vymezuje zdroje znečištění, úroveň vypouštěných látek atd.
- Chemické látky
  - 350/2011 Sb., zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon).
    - Zákon pojednává o nakládání, výrobě, značení a laboratorních zkouškách chemických směsí. Ty se v oblasti strojírenství hojně používají a nevyhne se jim ani technologie práškového lakování.
  - 258/2000 Sb., zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.
    - Zákon vymezuje ochranu před hlukem, vibracemi, nakládání s nebezpečnými chemickými směsí a látkami v podnicích, hygienické požadavky na pitnou vodu v objektu atd.

- Prevence závažných havárií
  - 224/2015 Sb., zákon o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů.
    - Tento zákon pojednává a stanovuje systém prevence závažných havárií pro objekty, kde se nachází nebezpečná látka s cílem snižovat pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií na životy a zdraví lidí anebo životního prostředí v těchto objektech a v jejich okolí. Pod objekt samozřejmě spadá i areál práškové lakovny, kde jsou uchovávány bezpečné chemické látky a směsi.
- Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC)
  - 76/2002 Sb., zákon o integrované prevenci a omezování znečištění. Popsán bude v kap. 2.1 Požadavky environmentální legislativy na proces lakování.
- Systémy environmentálního managementu
  - ČSN EN ISO 14001:2015.
    - Tato mezinárodní norma umožňuje organizacím a všem průmyslovým odvětvím nahlížet na ochranu životního prostředí takovým přístupem, který je založen na rizicích se zaměřením na sjednocení systému environmentálního managementu. Norma nepředepisuje kritéria environmentální výkonnosti a při zavádění není třeba úvodního přezkoumání stavu životního prostředí. Povinností je pouze identifikovat environmentální aspekty. Certifikát ISO 14001 je udělován nezávislou třetí stranou a v České republice se nevede žádný seznam společností, které certifikát získali. Tento certifikát je potom pro danou společnost důkaz, že daný environmentální systém je totožný se standardem správné praxe a je s ním ve shodě a že společnost aktivně provádí snižování environmentálních dopadů, jak činností a produktů, tak služeb na co nejmenší úroveň. [54]
  - EMAS (Základním předpisem je nařízení Evropského Parlamentu a rady č. 122/2009).
    - Jedná se o systém ekologického řízení a auditů. Představuje dobrovolný nástroj environmentálního řízení, který má být společností nápomocem ke zlepšení vlivu na životní prostředí, které je negativně ovlivňováno jejich činnostmi. V České republice je zakotven na základě zaktualizovaného usnesení vlády České republiky č. 651/2002. Stejně jako ISO 14001:2015 se jedná o dobrovolný environmentální nástroj, a proto nedochází při zavedení ze strany státu k nátlaku na snižování environmentální zátěže, ale jsou pouze monitorovány. Což probíhá nezávislou organizací, formou auditů a výsledky jsou následně zveřejňovány. Při zavedení EMAS systému má společnost právo využívat logo EMAS s přiděleným registračním číslem. EMAS je na rozdíl od ISO 14001:2015 vyžaduje veřejný přístup k politice, programy formou environmentálního prohlášení. Systém EMAS se v praxi nejčastěji implementuje na základě existujícího environmentálního manažerského systému ISO 14001. [54]

## 2.1 Požadavky environmentální legislativy na proces lakování

Na území České republiky je v platnosti nespočet vyhlášek i zákonů. Seznam těch nejdůležitějších, které se zabývají problematikou životního prostředí, byli stručně popsány v kap. 2 Analýza současného stavu ekologické legislativy v oblasti strojírenství.

Jak už bylo zmíněno výše, pro povrchové úpravy a proces lakování je v platnosti předpis Ministerstva životního prostředí č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Stanovují se ním emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky a o způsobu nakládání s výrobky obsahující těkavé organické látky. Vyhláška stanovuje specifické emisní limity a podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, způsob nakládání s výrobky, které těkavé organické látky (dále jen VOC) obsahují. Zásady a náležitosti evidence a bilancování spotřeby VOC a rozsah sledovaných údajů pro bilancování spotřeby VOC. Náležitosti a způsoby zpracování plánu pro snížení emisí VOC a skupiny zdrojů, pro které se tento plán zpracovává. Vymezuje dělení VOC na tři základní druhy, kategorizuje zdroje těchto látek, určuje emisní limity a podmínky pro provozování zdrojů.

Procesu práškového lakování se týkají jak požadavky na používané materiály, zejména v technologickém procesu přípravy povrchu, tak i stanovení emisních limitů pro organické těkavé látky. Stanovení hodnot emisí probíhá za pomoci roční spotřeby a kategorizace zdroje znečištění.

Důležitým právním předpisem, který se věnuje problematice povrchových úprav je zákon 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění. O integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů. V evropské unii je zakotven směrnicí Evropského parlamentu a rady 2010/75/EU o průmyslových emisích. Tento právní předpis stanovuje povinnost pro provozovatele některou z technologií povrchových úprav používajících organická rozpouštědla, využívat tzv. nejlepší dostupné techniky (Best Available Techniques – BAT). Jde o nejvyspělejší, nejúčinnější a nejpokročilejší stupeň vývoje používaných technologií. Způsob jejich užívání, které jsou vyvíjeny v takovém měřítku, tak aby bylo možné je zavést v daném hospodářském odvětví za co možná nejlepších ekonomických a technických podmínek. V potaz jsou brány náklady a přínosy pro provozovatele, které mají být co možná nejefektivnější a zároveň dosahovat největší možné ochrany životního prostředí jako celku. [23]

Tyto použitelné technologie jsou pro jednotlivé kategorie zařízení vypsány v referenčním dokumentu BREF (Reference Document on Best Available Techniques). Vypracovány jsou pro jednotlivá průmyslová odvětví. Obsahují údaje o průmyslových procesech, používaných technikách, emisních limitech používaných v členských zemích EU, prioritních materiálových tocích a monitoringu. BREF podává informace o úrovni techniky, které dané odvětví dosáhlo. Ale tyto informace nejsou právně závazné, ani vymahatelné. Jsou pouze směrodatné pro rozhodnutí o tom, zda patřičná technologie a způsob jejího provozování odpovídá požadavkům zákona o integrované prevenci a omezování znečištění (Integrated Pollution Prevention and Control-IPPC) a zda bude vydáno povolení k provozu průmyslových zařízení. [8][25]

Dokumenty jsou platné pro celou EU a na jejich vypracování se podílí příslušné technické skupiny tzv. (Technical Working Group – TWG), které jsou sestaveny ze zástupců všech členských zemí EU (tedy i ČR) a jejich práce je řízena prostřednictvím evropského úřadu pro integrovanou prevenci a omezování znečištění. [23]

Cílem integrované prevence a omezování znečištění je ochrana životního prostředí jako celku (půda, odpady, ovzduší, voda) před znečišťováním z průmyslu i zemědělství. [23]

V České republice představuje proces IPPC tvorbu dvou vzájemně se prolínajících elementů. Jednak jde o tzv. povolování zařízení v místě, kde je patřičná průmyslová činnost vykonávána. Nezávazně i kontrola zařízení a změny povolení. Druhou částí je pak zapojení výzkumných institucí. Zejména vysokých škol, národních orgánů, provozovatelů, ale i průmyslových a nevládních environmentálních organizací do tvorby a revize BREF dokumentu na evropské úrovni. Mezi povolovací orgány se řadí Magistrát Hlavního města Prahy, případně místě příslušný krajský úřad. V případech, kdy má zařízení opravdu negativní vliv na životní prostředí je povolujícím orgánem Ministerstvo životního prostředí, které představuje zároveň i odvolací, metodický i ústřední orgán pro IPPC. [23]

Příloha č.1 v tomto zákoně 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění je věnována vymezením příslušných kategorií jednotlivých průmyslových činností, jejichž provoz je podmíněn integrovaným povolením. Dále je pro IPPC vyhrazena vyhláška č. 288/2013 Sb., o provedení některých ustanovení zákona o integrované prevenci, kde jsou uvedeny vzory žádostí o integrované povolení a další důležité dokumenty pro provozovatele. [23]

Mezi hlavní principy IPPC se řadí zejména: [23]

- Omezení vzniku odpadu volbou vhodné technologie s cílem vzniklé odpady v co možná největší možné míře zhodnocovat a recyklovat.
- Zabezpečovat takové provozní podmínky, které neumožňují přenos znečišťování mezi jednotlivými složkami životního prostředí.
- Integrace dílčích povolení do jednoho a vydávání tohoto povolení jedním správním orgánem.
- Šíření informací mezi veřejnost a její účast na povolovacích akcích. V České republice zajišťuje zveřejňování informací a informační podporu v oblasti BAT a BREF Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Pro provoz práškové lakovny je dále nutné zpracovat provozní řád a havarijní plán podle požadavků, které stanovuje vyhláška č. 175/2011 Sb., o náležitostech nakládání se závadnými látkami a náležitostech havarijního plánu. Způsobu a rozsahu hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků. [10]

Dozor, kontrola a předpisy spojené s udržováním životního prostředí, se ukazují jako vhodný nástroj, alespoň k udržení současného stavu. Znečištěné životní prostředí totiž neohrožuje pouze zdraví obyvatel, se kterým jsou spojené velké finanční výdaje na zdravotní péči. Má však velice nepříznivé dopady na ekonomii výroby. Firmy se špatnou kvalitou vstupních surovin nejsou schopny totiž dodat finální produkty v požadované kvalitě nebo za cenu velmi vysokých výrobních nákladů. [8][25]



### 3 TECHNOLOGIE POVRCHOVÝCH ÚPRAVY KOVŮ

Jedná se o technologické procesy, díky kterým je možné dosáhnout zlepšení vlastností povrchu za účelem zvýšení odolnosti proti korozi nebo zdokonalení funkčních vlastností. Jako například, za účelem zvýšené odolnosti proti opotřebení, nebo podstatné zlepšení třecích vlastností, elektrické vodivosti a v poslední řadě také vizuální stránky materiálu.

Způsob povrchové úpravy materiálu se v praxi volí především podle druhu a způsobu použití finálního výrobku, materiálového složení, konstrukčního uspořádání i technologického postupu výroby.

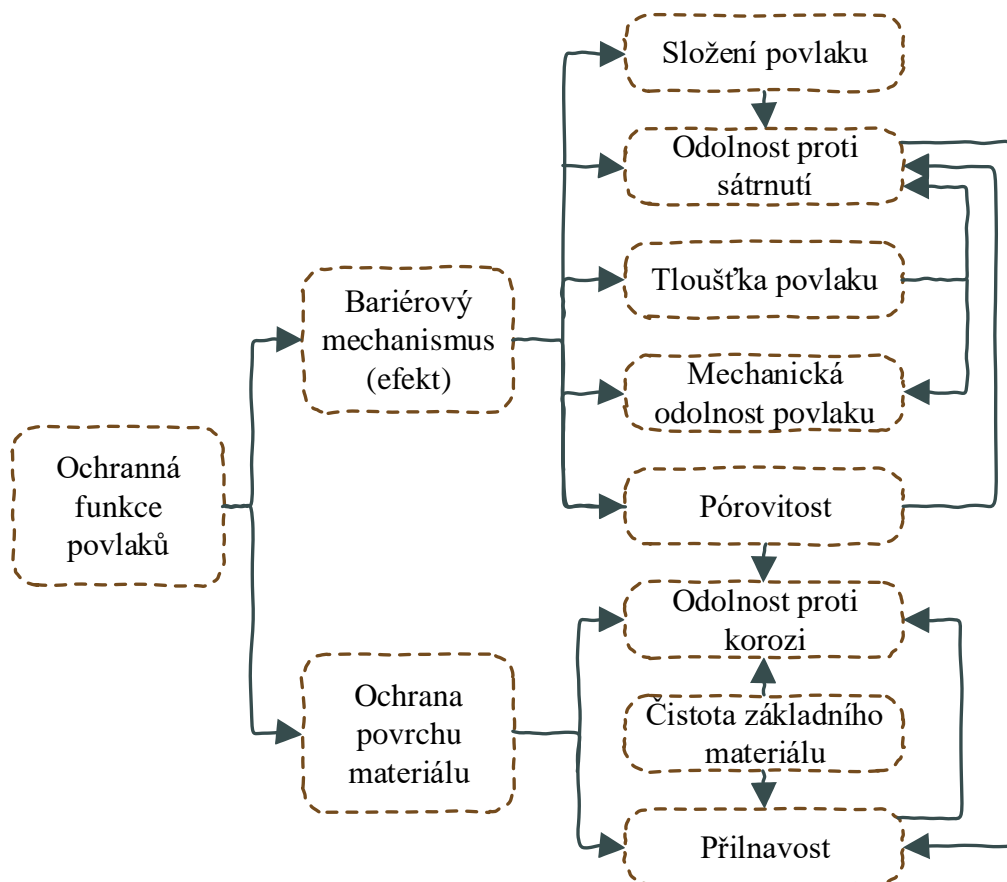
Při návrhu opatření pro dosažení konkrétní jakosti a předpokládaných požadavků daného výrobku v určitém prostředí existuje několik způsobů, jak tyto opatření realizovat. Zejména je to úprava konstrukční, a to buď ve změně materiálu, nebo změnou celého konstrukčního celku. V dalším případě je ale možné provést povrchovou úpravu materiálu, což je v drtivé většině neekonomičtější varianta. I z tohoto důvodu se technologie zabývající se povrchovými úpravami, staly velmi oblíbenou a vhodnou metodou v mnoha oborech a tam kde je kladen důraz na stránku vizuální, funkční i ochrannou. [24]

Na tyto technologie povrchových úprav je ze strany spotřebitele kladen požadavek, aby vytvořený povlak či nanesená vrstva splňovali po celou dobu životnosti výrobku vlastnosti, jak funkční, tak vzhledové. Proto je kladen velký důraz na optimalizaci protikorozi ochrany, která je založena na znalostech kinetiky korozních dějů materiálu a mechanismu ochranné funkce systému protikorozi ochrany povrchu. Díky kterému má být dosaženo snížení předčasně selhání protikorozi ochrany, zvýšení provozní spolehlivosti a životnosti povrchu, a tím i celého systému, respektive produktu či výrobku.

Pro každý typ výrobku proto musí být stanoven optimální povlakový systém, který se většinou vytváří na základě předchozích zkušeností s povrchovými úpravami, znalostí dané problematiky či složení a použití lakovaného dílce. Obsahuje několik důležitých procesů, pro které musí být vzhledem k dosažení požadované kvality vytvořeno a plně využíváno řízení jakosti systému. Kdy optimální povlak je takový, díky kterému je zajištěno požadovaných vlastností s minimálními finančními náklady na jeho vytvoření, udržování a zneškodnění odpadních produktů. Z hlediska zatížení životního prostředí by optimální povlak měl, ať už při výrobním procesu, použití a následné likvidaci zanechat co možná nejmenší míru znečištění. [29][36]

Neoddělitelnou složkou výroby povlaků je proto kontrola kvality, která vede k zabezpečení objektivního posuzování a hodnocení jak kvalitativního, tak kvantitativního splnění předepsaných požadavků a kvality výsledné povrchové úpravy materiálu. Jakost povlaků zahrnuje ochranou funkci a vzhledovou stálost při definovaných klimatických podmínkách.

Ochranná funkce je dána vzájemným provázáním funkcí povlaku, a to mechanismem bariérovým a schopností chránit (blokovat) povrch kovu. Na jakostní znaky ochranné funkce povlaků a jejich vzájemné vazby poukazuje schéma na obr. 4. [12]



Obr. 4 Jakostní znaky ochranné účinnosti povlaků [12]

Vhodnou volbou kontrolních metod jakosti je možné vytvořit objektivní hodnocení povrchové úpravy a odhadnout životnost chráněného systému, tj. výrobku. Provádí se na základě požadavku na funkci povlaku v souvislosti s technickými vlastnostmi. Ty musí daný produkt splňovat po dobu předpokládané technické životnosti. Dá se říci, že ochranný účinek povlaku je jeden ze základních ukazatelů kvality povlaků. [24]

Hlavními veličinami kontrolované při vytvoření povlaku jsou [12]:

- hloubka povlaku,
- pórovitost,
- korozní odolnost,
- odolnost proti mechanickému opotřebení,
- přilnavost povlaku,
- tvrdost a mikrotvrdost povlaku.

### 3.1 Základní dělení povrchových úprav kovů

Existuje nepřehledné množství povrchových úprav kovů, které je možné rozdělit dle několika kritérií. Těmito kritériím potom předchází správné určení prostředí a použití dílce (nepříznivé vlivy, namáhání, aj). Při stanovení použití následně dílec projde některou z operací povrchových úprav. Povrchové úpravy kovů je možné roztrždit [46][24]:



1. Dle použitelnosti na[24]:

- Povrchové úpravy materiálu, sloužící především k ochraně proti nepříznivým vlivům, jako jsou klimatické podmínky, chemické činitele, ale i mechanické účinky.
- Povrchová úprava, která slouží jako vizuální stránka výrobku, tzv. dekorativní, což se týká zejména různých barevných odstínů RAL, druhu lesku a pestré škály dekorativních vzorů. Vzorník barev RAL představuje celosvětově uznávaný standard pro stupnici barevných odstínů (obr. 5) uznávaných v průmyslové výrobě interiérových či exteriérových nátěrových hmot.
- Důležitá a často prolínající se skupina s ostatními jsou speciální povrchové úpravy. Zde je kladen důraz zvláště na mechanické vlastnosti a různé typy odolnosti proti opotřebení, odolávání vysokým teplotám, dosažení požadované elektrické vodivosti aj.



Obr. 5 Vzorník barev RAL [22]

2. Dle charakteru vytvořené povrchové vrstvy:

- Anorganické povlaky
  - Kovové povlaky
    - zinkování,
    - niklování,
    - chromování aj.
  - Oxidové povlaky
  - Sklovité, keramické
  - Z jiných anorganických sloučenin
- Organické – nanášení práškových a tekutých nátěrových hmot, včetně nanášení konverzních povlaků.
  - tekuté nátěrové hmoty,
  - práškové nátěrové hmoty,
  - konzervační povlaky.

3. Dle způsobu vytvoření povrchové vrstvy:

- chemickou reakcí,
- galvanickými a elektrochemickými procesy.
  - Selektivní pokovování z povlaků mědi, stříbra a jejich slitin.
- Za pomoci difúze
  - Nasycení povrchu materiálu legovacím prvkem např. titanem, bórem, chromem, niklem či křemíkem.
- Ve vakuu
  - PVD – Physical Vapour Deposition,
  - CVD – Chemical Vapour Deposition.
- Chemicko-tepelným způsobem
  - povlakování z tavenin kovů,
  - žárové stříkání.

V následující podkapitole 3.2 Současné technologie povrchových úprav kovů budou popsány jednotlivé hojně využívané technologie povrchových úprav a jejich způsob aplikace, vliv na životní prostředí atd. Vzhledem k zaměření této diplomové práce na posouzení ekologické zátěže procesem práškového lakování, budou podrobně popsány jednotlivé procesy právě této technologie.

## 3.2 Současné technologie povrchových úprav kovů

Jak už bylo v kap. 3.1 Základní rozdělení povrchových úprav kovů zmíněno, rozlišuje se několik druhů povrchových úprav. Některé se využívají zřídka, jiné hojně. Nejrozsáhlejší zastoupení, a vůbec nejpoužívanější technologii povrchových úprav tvoří skupina organických povlaků, do které patří zejména tekuté nátěrové hmoty a práškové nátěrové hmoty. Existují však i technologie, kdy dochází například k pokovování povrchu, takže okrajově budou popsány i některé technologie a způsoby aplikace anorganických povrchových úprav. Následující kapitola bude věnována způsobům nanášení a aplikace, složení nátěrových hmot atd. Pro práškové nátěrové hmoty, kterými se tato diplomová práce bude nadále zabývat, budou popsány z hlediska ekologie jednotlivé metody přípravy povrchu, nanášení, zpětné využití a recyklace práškové hmoty a potřebné předúpravy pro dosažení čistoty povrchu materiálu. [46]

### 3.2.1 Anorganické povlakové úpravy

Anorganické povlaky patří mezi dlouhodobou ochranu proti korozi, která se na povrch materiálu nanáší chemickou či elektrochemickou cestou mořením aj.

Jsou-li splněny podmínky, které umožňují tvorbu vrstev a povlaku, je možné kovy a jejich slitiny upravovat chemickými roztoky. Kdy na povrchu materiálu nastává změna kovu na sloučeninu, která je podmíněna tvorbou fosforečnanů, oxidů a kombinací se složkami použitého roztoku dané povrchové úpravy. V tom případě se jedná o nanášení kovového povlaku ponořením do roztaveného kovu. Daný kovový roztok musí splňovat podmínku nižší tavicí teploty než kov, který je danou povrchovou úpravou zpracováván. Hojně využívané technologie jsou [46]:

- Fosfátování

Je jeden ze způsobů chemické povrchové úpravy kovů (ocelí, zinku, hliníku a jejich slitiny), při kterém se na povrchu dílce vytváří jednotná, dobře zakotvená krystalická vrstva nerozpustných, nebo obtížně rozpustných fosforečnanů. Jako prostředky pro fosfátování se nejčastěji používají přípravky na bázi kyselého fosforečnanu zinečnatého s volnou kyselinou fosforečnou v takovém poměru, aby docházelo k přeměně na fosforečnan. [7][12]

Fosfatizační prostředky se aplikují buď ponorem do lázní, nebo postřikem. Vrstva je chemicky spojena se základním kovem dílce, ale její povrch dosahuje velké drsnosti – pórovitosti, takže tato technologie není vhodná jako konečná povrchová úprava. Používá se spíše jako předúprava před nanášením organických povlaků, kde tato vrstva zabraňuje pod rezivění a zvyšuje přilnavost povlaku. Fosfatizační proces je možné použít ke zlepšení tvářecích technologií, k záběhu pohyblivých strojních součástí, nebo k tvorbě izolačních vrstev. [12][19]

Pro zkvalitnění povrchu je možné přidat různé urychlovače – oxidační látky, které urychlí fosfatizaci. [24]

- Kovové povlaky

Dříve ve velké míře používané lázně pracující na kyanidové bázi jsou dnes nahrazeny lázněmi nekyanidovými. Nejvíce využívané typy lázní principem elektrolytické vylučování jsou povlaky zinkové niklové, měděných, chromové a dalších povlaky. Níže budou rozebrány alespoň některé z nich:

- Chromování

Spočívá v elektrochemickém (galvanickém) nanášení několika vrstev kovů na čistý povrch předmětů. Aplikace probíhá ponorem, do lázní. Složení se liší dle požadovaných vlastností chromového povlaku. Nosnou a hlavní složkou je oxid chromový ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), jehož koncentrace se pohybuje v rozmezí  $200 - 300 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ . K redukci kovového chromu a jeho vyloučení dochází za pomoci katalyzátorů, což je buď kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), která se vyznačuje vyšší stálostí a menší agresivitou. Nebo jsou to flouridy a flourokřemičitany, které vynikají svojí rychlostí chromování, což příznivě ovlivňuje ekonomickou stránku výroby povlaku. Pro dosažení vysoké kvality procesu je důležitá správná koncentrace a volba katalyzátorů. [19]

Chromování je využíváno především pro svůj charakteristický lesk a velmi dobrou mechanickou odolnost s charakteristickým vzhledem. Vedle klasického, dekorativního a antikoročního chromování je možné provádět chromování tzn. tvrdé – funkční. Tento druh chromování se využívá pro strojní součásti, na které je kladen velký důraz při odolnost proti opotřebení, mechanickému zatížení a zvýšení životnosti funkčních částí např. motorů, měřidel aj. Výsledný povlak dodává velkou odolnost proti otěru a jeho tvrdost dosahuje až 1000 HV.

Kromě uvedených výhod má chromování i velké nevýhody. Jeho největší je zcela jistě neekologičnost celého procesu. V průběhu procesu totiž dochází ke vzniku vodíku, který volně uniká do ovzduší. Zároveň s sebou odvádí značné množství chromovací lázně v podobě kyselého a velmi agresivního aerosolu. Ke snížení úniku aerosolů je možné do lázně přidávat speciální látky, tzv. tenzidy, které produkují na hladině lázně pěnu, do které se převážná část aerosolu zachytí a dojde tak k omezení úniku do ovzduší. [53]

Při procesu chromování se dále vyskytují sloučeniny obsahující šestimocný a trojmocný chrom. Ačkoli kovový chrom a vznikající sloučeniny trojmocného chromu nejsou toxické, šestimocné sloučeniny chromu jsou velice nebezpečné, toxické a průmyslové karcinogenní látky. Z toho důvodu se chrom řadí mezi látky s největším potenciálem ke způsobení rakovinového onemocnění. Takže proces vyžaduje používání vysokého stupně ochrany pracovníků a životního prostředí. I přes tyto opatření je takřka nemožné se vyhnout kontaktu. U operátora chromovací linky pracující v takto znečištěvaném ovzduší hrozí vážná onemocnění dýchacích cest, usazování chromu v plicích a následně k projevu rakoviny. Ta se může vyskytnout i dlouho poté, kdy byl pracovník vystaven působení chromu. [27]

Značné snižování limitů škodlivin a také řada vyhlášek a vládních nařízení, které z důvodu snížení limitů šestimocného chromu výrazně prodražují tuto hojně používanou technologii, směřují tyto skutečnosti k náhradě technologie tvrdého chromování. Mezi nejvhodnější náhrady je možné zařadit například technologie nanášení povlaku ve vakuu (PVD, CVD) a zejména potom technologie žárového stříkání povlaku. [7][43]

#### ○ Zinkování

Představuje široký aplikační rozsah, a to zejména pro svoji dobrou okolnost vůči korozi. Vlastnosti zinkových povlaků se ale odvíjí od způsobu vyhotovení. Životnost a vizuální stránku zinkovaných povlaků je ještě možné vylepšit dalšími úpravami jako je například chromování, fosfátování či nanesení nátěru. Zinkové povlaky je možné vyhotovit buď mořením elektrolyticky, které se označují jako žárové zinkování ponorem. Druhý způsob je nástřikem roztaveného zinku, v tomto případě jde o proces žárového nástřiku zinku. [24]

#### ○ Niklování

Nejčastěji používaná technologie zejména pro ocelové drobné dílce. Je možné vytvořit povlak i na jiné kovy – hliník, měď, mosaz, zinek a jeho slitiny. Odolné jsou vůči vodě jak v alkalickém prostředí, tak za atmosférických podmínek. Kyselá prostředí působí na povlak agresivně. Vhodné jsou jako povlaky ochranné, funkční i dekorativní. A to buď, jako povlak konečný, nebo jako mezioperační při následném chromování.

Vzhledem k nedostatku a vysoké ceně niklu je snaha celosvětově omezit a snížit jeho využívání v průmyslu. Proto se např. pro pokovování používají duplexní a triplexní niklové povlaky s následným nanesením povlaku chromu. Výsledkem je tedy omezení nanášení dvou či tří vrstev niklu a dosažení dobrých korozních i mechanických vlastností při snížení ekonomických nákladů celého procesu. [24][46]

### 3.2.2 Organické povlaky, tekuté nátěrové hmoty

Tekuté nátěry jsou hojně používané jako poslední povrchová úprava, která se využívá při ochraně proti korozi. Povrch materiálu dílce chrání hned několika způsoby. V první řadě jde o oddělení kovu od okolí prostředí – tedy bariérová ochrana.

Dále pomocí antikorozních pigmentů tzv. prostřednictvím inhibitorů, či katodicky. Tyto hmoty vytvoří po nanesení a vytvrzení na povrchu pevný souvislý povlak “nátěr”. Nanášeny jsou buď ve stavu tekutém, nebo těstovinovém. Povrch díky nim dostane nové chemické, fyzikální i vizuální vlastnosti.

Rozšířeny jsou zejména pro svojí vysokou účinnost proti korozi, poměrně vysokého ochranného účinku, jednoduchou technologií nanášení a ekonomického činitele. [46][24]

Tekuté nátěrové hmoty se skládají z následujících složek [46]:

- **Pojiva** (filmotvorná složka) – jedná se o netěkavé látky, které jsou schopny vytvářet tenké ucelené vrstvy a nést částice pigmentu a plnidla v zaschnutém filmu.
- **Rozpouštědlo** – těkává látka, která slouží k rozpouštění pojiva při výrobě nátěrových hmot a k úpravě viskozity při aplikaci nátěru. Při aplikaci nátěru většinou vytéká, jsou to např. toluén, xylén, technický benzín, etylacetylát aj.
- **Pigmenty** – jsou organického, nebo anorganického původu a udávají nátěrové hmotě barevní odstín. Dále mají schopnost přerývat podkladovou vrstvu, snižovat stárnutí nátěru a zvyšovat tepelnou a korozní odolnost. Často bývají s kombinací s plnidlem, kde jsou jemně rozptýleny. Na obr. 6 jsou příklady přírodních pigmentů.

- Plnidlo – představuje jemné minerální látky, které nejsou rozpustné v pojivech. Přidáním těchto látek do nátěru je možné zlepšit jeho technologické vlastnosti a zabránit například smršťování filmu po zaschnutí.
- Aditiva – sloužící ke zlepšení vlastností nátěrových hmot, např. smáčedla, oděpňovače, inhibitory, urychlovače apod.



Obr. 6 Ukázka suchých přírodních pigmentů [39]

Při správném poměru a způsobu zamíchání vznikne výsledný produkt v podobě nátěrové látky. Pro výrobu je možné použít stovky různých druhů surovin a různé způsoby míchání. Takže výběr surovin a technologie výroby obvykle vychází z ověřených a vyzkoušených předpisů. Vzhledem k tomu, že málokdy se u této technologie používá jednovrstvého nátěru vznikli vzájemné kombinace jednovrstvých nátěrů definovaných například jako [12]:

- Kombinovaný nátěr, základní – podkladový – vrchní.
- Kombinovaný nátěr, napouštědlo – základní – vrchní.



Obr. 7 ukázka nanášení nátěrové hmoty stříkáním [17]

Princip nanášení nátěrové látky vyplývá zejména z faktorů jako je velikost a tvar povrchu. Z vlastností použitých nátěrových hmot, z kvality povrchu materiálu (drsnot, čistota aj.). Dále je také třeba brát v úvahu bezpečnostní a zdravotní rizika. Mezi nejjednodušší a univerzální technologii nanášení je považováno použití štětce či válečku. Jsou zde malé ztráty, ale také malá výkonost. Vyšší ztráty, ale větší produktivitu práce a tím i využití v hromadné výrobě představuje nanášení stříkáním, ukázka, viz obr. 7. To může být pneumaticky, vysokotlaké či elektrostatické. Další způsoby nanášení jsou máčení a navalování. [24][46]

Pro zajištění vysoké kvality nátěrové látky je při výrobě třeba dodržovat vstupní mezioperační i výstupní kontroly. Kvalitu vstupních surovin kontrolovat a provádět rozborů v laboratořích. Výrobní laboratoře potom před plnění hotové nátěrové látky stanovují vlastnosti, jako je měrná hmotnost, viskozita, obsah sušiny, čas zasychání, barevný odstín, krycí schopnost, aplikační vlastnosti atd. [12]

Vzhledem k vysoké environmentální zátěži organických nátěrových hmot a velkým ekonomickým nákladům na výrobu hmot s vysokým obsahem těkavých organických používaných rozpouštědel je snaha vyvíjet nové ekologické nátěrové hmoty. Za cíl je co nejvíce zredukovat množství těkavých organických rozpouštědel, které unikají do ovzduší při výrobním procesu těchto povlaků. Jedním z řešení problematiky je náhrada rozpouštědlových nátěrových hmot vodou ředitelnými či vysoko sušinovými materiály. Případně náhrada nátěrových hmot ve velkovýrobě za technologii práškového nanášení povlaku. [12][19]



## 4 ORGANICKÉ POVLAKY, PRÁŠKOVÉ NÁTĚROVÉ HMOTY

Práškové nátěrové hmoty (PNH) či práškové plasty, viz obr. 8, nebo hojně užívaný název KOMAXIT, tvoří zvláštní skupinu povrchových úprav nejen kovů. Řazeny jsou sice mezi průmyslové nátěrové hmoty, ale svým složením a vlastnostmi jsou blíže spíše plastům. Práškové nátěrové hmoty jsou tuhé formy nátěrové hmoty v podobě práškových částic s velikostí od 10 do 500  $\mu\text{m}$ . Částice jsou následně po nanesení na povrch lakovaného dílce vytvrzeny, spojí se a vytvoří souvislý povlak s tloušťkou až 100  $\mu\text{m}$ . Tvořeny jsou zpravidla syntetickou pryskyřicí, plnidlem, pigmentem s nabíjecími částicemi a přísadami např. složky pro úpravu rozlivu a vytvrzování. V dnešní době jsou používány práškové nátěrové hmoty v podobě termoplastů a termosetů, kde nejrozšířenější jsou na bázi termosetů. [12][15]



Obr. 8 ukázka PNH [40]

- **Termoplastové PNH**  
Tvoří je vinylová, nylonová a polyesterová pryskyřice a vyznačují se vysokou molekulovou hmotností. Nanášení probíhá za použití fluidního lože a při vytvrzování PNH je třeba vyšších vypalovacích teplot. Avšak pro svoji nízkou teplotou tavení, kdy přechází do plastického až kapalného stavu mají omezenou míru použití. Mezi představitele termoplastových PNH se řadí polyvinylchloridové, polyethylenové, nylonové a polyesterové.
- **Termosetové PNH**  
Neboli reaktoplastové práškové hmoty jsou tvořené z pryskyřice s vysokou molekulovou hmotností a zesíťovacích látek. Právě tyto látky při chemické reakce, (polyamidaci nebo polykondenzaci) napomáhají k chemickému zesíťování. Což představuje proces, kdy termosety přicházejí o plastické vlastnosti. Vytvrzování probíhá za teplot přesahujících 150 °C, do teplot okolo 220 °C. Nanášení termosetové PNH je prováděno elektrostatičticky. Výsledné vlastnosti povlaku určuje kombinace tří základních pryskyřic a různé typy zasíťovacího, resp. vulkanizačního činidla. Mezi nejpoužívanější typy práškových plastů na bázi termosetů se řadí [46]:

- Epoxidové práškové plasty (EP)  
Základní složkou (nosičem) je zde právě epoxidová pryskyřice. Vyznačují se dobrou odolností vůči korozi a některým chemickým látkám. Vytvrzování probíhá za poměrně nízkých teplot, ale mají takřka nulovou odolnost vůči UV záření, takže jsou určeny výhradně do interiéru jako estetická či funkční úprava. Vlivem UV záření dochází postupně k degradaci mechanických vlastností, ztrácejí lesk, křídovatí a postupně mění odstín, což je projevem rozpadu polymerního filmu, který způsobuje úbytek nanesené vrstvy až 10  $\mu\text{m}$  za pouhý rok. Pro svoje dobré izolační vlastnosti nachází uplatnění i v elektrotechnice jako izolace elektromotorů, alternátorů, rozvodových skříní aj. [15][46]
- Epoxypolyesterové práškové plasty (EP + PES)  
tzv. hybridy či mixy jsou vyráběny v kombinaci epoxidové a polyesterové pryskyřice, nejčastěji v poměru 30:70 až 50:50. Ten bývá přesně dán dle požadavků na povrchovou úpravu. Vlastnostmi jsou velmi podobné jako epoxidové PNH, ale navíc jsou odolnější vůči UV záření, takže je lze využít i pro výrobky, které jsou krátkodobě vystavovány povětrnostním vlivům. Další výhodou je zvýšená tepelná odolnost a lepší odolávání teplé vodě. Oproti tomu jejich nevýhodou je snížená odolnost proti působení chemikálií rozpouštědel a nižší tvrdost povlaku. [15][46]
- Polyesterové práškové plasty (PES)  
Vyrobeny jsou z polyesterové pryskyřice a příslušného tvrdidla. Určeny jsou především k použití do exteriéru. Vyznačují se velmi dobrou stabilitou vůči povětrnostním vlivům a UV záření, odolné ke křídovatění s relativně vysokou tepelnou odolností. Nižší odolnost je ale vůči chemikáliím a rozpouštědlům. Dřívější toxická forma uretanového polyesteru je dnes již nahrazena formou netoxickou, v podobě B-hydroxyalkylaminů. Využití nachází v zemědělské technice, různých ocelových konstrukcích mostů, budov, hal, okenní rámy, rámy jízdních kol apod. [15][46]
- Polyuretanové práškové plasty (PUR)  
Základní složku v tomto druhu termosetové práškové nátěrové hmoty tvoří polyesterová pryskyřice s různým typem tvrdidla. Patří mezi nejodolnější a nestabilnější práškové plasty a využití nacházejí zejména v dopravním průmyslu (osobní auta, nákladní auta, vlaky aj). Mezi nevýhody patří uvolňující se těkavá látka kaprolaktam a zhoršující se mechanické vlastnosti se zvětšující se vrstvou povlaku. Odolné jsou vůči různým chemikáliím, rozpouštědlům i UV záření. Vzhledem k vysoké čirosti polyesterové pryskyřice jsou tyto práškové plasty velice vhodné k tvorbě transparentních povlaků. Ze všech zde uvedených termosetových práškových plastů jsou polyuretanové práškové plasty nejdražší. [15][46]



## 4.1 Nanášení PNH

Principem nanášení PNH na povrch materiálu je ukotvení, zasítování a následné vytvrzení, za předem stanovené vytvrzovací teploty. Základem je tzv. zkapalnění prášku (míchání prášku s čistým tlakovým vzduchem) s případným částečným natavením (technologie fluidního lože), nebo nabíjením PNH v elektrostatickou energii (metoda Tribo a Corona).

Nanášení PNH nabíjením za pomoci naprašovací pistole probíhá v tzv. stříkacích nanášecích kabinách. Existuje několik typů a způsobů provedení jako např. průjezdové, viz obr. 9, nebo boxové. Kdy konkrétní typ se vždy volí podle lakovaného sortimentu (tvar, rozměry, množství aj.). V dnešní době jsou ke zvýšení produktivity lakování využívány automatizovaná pohyblivá ramena či dokonce plně automatizovaní lakovací roboti s různým počtem naprašovacích pistolí. Nanášení práškové nátěrové hmoty na povrch dílce je možné realizovat pomocí technologií:

- Technologie fluidního lože

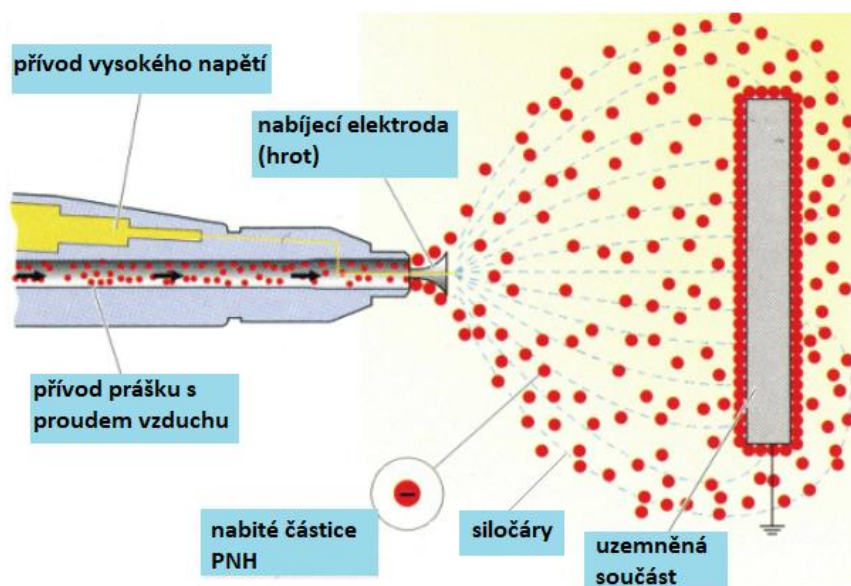
Principem této technologie je částečné natavení zkapalněného prášku a ponoření přehřátého dílu do fluidního lože. Kde díky vysoké teplotě dojde k natavení prášku na povrch dílce. Dílec je po natavení prášku nutné ihned vyjmout z nádrže a přemístit jej do pece, kde dojde k jeho vypálení. Dnes se jedná o již málo používanou technologii nanášení. Nevýhodou je velká spotřeba prášku z důvodu nutnosti naplnit celou nádrž, tak aby byl dílec celý ponořený, takže se hodí spíše pro malé součásti. Dále vzniká velká časová náročnost při změně odstínu barvy, kdy je nutné provést kompletní vyčištění nádrže a zařízení před záměnou barevného odstínu. [15][46]



Obr. 9 Nanášení PNH v průjezdové práškovací kabině

○ Elektrostatické nabíjení tzv. CORONA

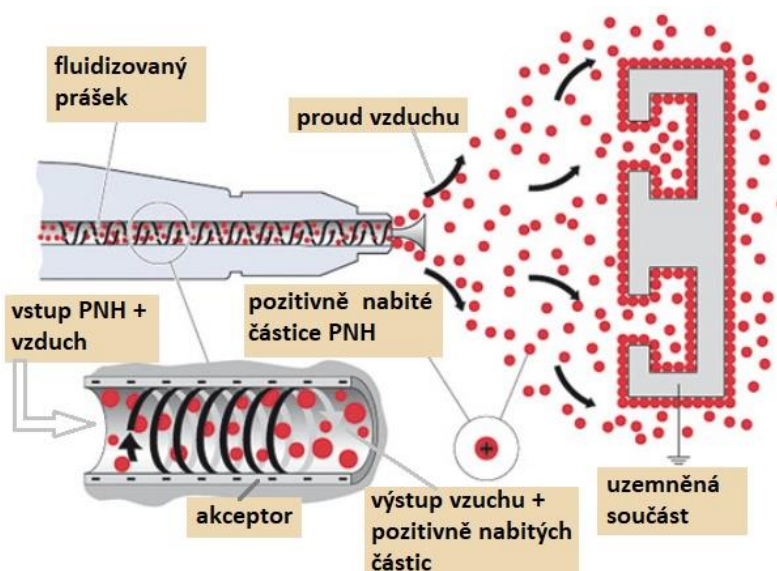
Corona je dnes nejrozšířenější typ elektrostatického nanášení PNH (obr. 10). Prášek je zde Venturiho čerpadlem odsán ze zásobníku a za pomoci hadic dopraven do naprašovací pistole. Hrot pistole obsahuje nabíjecí elektrodu, která je připojena ke generátoru vysokého napětí (až 100 kV). Úroveň napětí se přizpůsobuje geometrii dílce, práškové barvě a použitému systému. Při sepnutí spínače pistole dojde k vytvoření silně nehomogenní elektrické pole mezi hrotem a uzemněnou součástí. Siločáry, které se vytvoří mezi povrchem součásti a hrotem pistole uvedou do pohybu volné elektrony a ionty ve vzduchu. Kombinací vysokého napětí a elektrodou vytvořeného elektrického pole, který převyšuje průrazné síly vzduchu, dochází ke generování tzv. Coronova výboje. Tento výboj dělí molekuly vzduchu na dva negativní a jeden pozitivní iont a tento postup štěpení se opakuje až do chvíle, než se vytvoří dostatečný počet volných iontů. Záporné ionty jsou urychlovány ve směru siločar, na uzemněnou součást – lakovaný dílec. Kladné ionty jsou urychleny podél siločar ve směru k pistoli. Prostor mezi pistolí a uzemněnou součástí je vyplněn miliony volných elektronů a iontů, uzemněná součást vytváří přijímací elektrodu a vzniká silné elektrostatické pole. Při průchodu prášku tímto polem jsou tyto částice nabity negativními ionty a vlivem coulombových sil spolu za přítomnosti stlačeného vzduchu dojde k přichycení k povrchu uzemněné součásti. Po nanesení částic na součást následuje jejich natavení, zesíťování a vytvrzení v peci, čímž vznikne na povrchu souvislý povlak. [15][50]



Obr. 10 Princip nabíjení PNH metodou CORONA [50]

○ Elektrokinetické nabíjení tzv. TRIBO

Princip elektrokinetického nabíjení spočívá ve třecím kontaktu částic PNH v aplikační pistoli a hadicích vyrobených z materiálu, který dobře pohlcuje elektrony (obr. 11). Nejčastěji se využívá teflonových materiálů. K nasávání práškové hmoty ze zásobníku dochází taktéž, za pomoci Venturiho čerpadla. Hadicemi je dopravena do aplikační pistole a naprášena na povrch dokonale uzemněného dílce. Do útroby pistole jsou částice PNH hnány stlačeným vzduchem a vlivem tření o stěny teflonového materiálu hadic a pistole dochází k vytvoření kladné polarity. Negativní elektrony jsou z pistole odvedeny pomocí kabelového zemnění. Velkou předností této metody je aplikace bez použití vysokonapětového generátoru. Čímž je odstraněno tvoření tzv. Faradayova jevu u tvarově složitějších dílců a dochází tak k rovnoměrnému nanášení vrstvy PNH. S výhodou se využívá při nanášení u dílců s rohovými přechody, vybráním, záhlubněmi apod. Za menší nevýhodu lze považovat menší efektivnost nanášení PNH na povrch součásti, oproti metodě CORONA. [15][50]



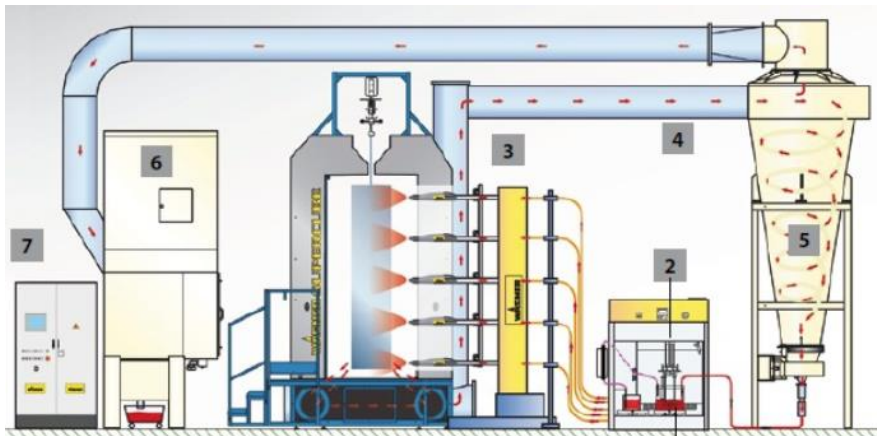
Obr. 11 Princip nabíjení PNH metodou TRIBO [50]

## 4.2 Recyklace a zpracování odpadních PNH

Nanášení lakovací kabiny jsou vybaveny vzduchotechnikou a několika stupni recyklace pro zpětnou filtraci prášku, který neulpěl na povrchu lakovaného dílce, tzv. přestřík. Filtrace je prováděna za pomoci filtrů, kterých existuje celá řada a nejčastěji využívanými jsou kazetové, cyklonové, modulové a pásové. Úroveň recyklace s případným odsáváním vzduchu z kabiny je závislá na stupni automatizace a velikosti lakované série. U kabin se vzduchotechnikou spočívá princip v odsávání prášku, který neulpěl na dílci v lakovací kabině pomocí cyklonu do koncového filtru. Z cyklonu se prášek vrací zpět do nanášecího zařízení, kde je míchán s práškem novým. Takže odpad představuje pouze malé množství velmi jemného prášku, který se soustředí v koncovém filtru. Pakliže kabina je vybavena pouze filtry – cyklóny, přebytečný prášek není odsán, ale zůstává usazen a hromadí se v prostoru kabiny. Odkud jej musí obsluha – lakýrník přemístit do recyklační jednotky. Oběh práškové barvy při aplikaci v práškovací kabině je zobrazen na obr. 11 a cyklus je následující:



Zásobník (1) je naplněn lakovacím práškem, následně se do prášku přivádí fluidizační vzduch. Sacím systémem (2) je prášek dodáván ze zásobníku (1) do injektorů, a nakonec do naprašovacích pistolí (3), kterými je prášek nanášen na dílec. To vše za pomoci vzduchu. Množství prášku je samozřejmě možné regulovat průtokem vzduchu. Přebytečný prášek tzv. přestřík je pomocí rekuperace odsát potrubím (4), až do cyklonu (5). Dochází zde k oddělování směsi prášku od vzduchu. Využito je vysoké rotace v cyklonu a tím se oddělí vzduch od prášku. Při rotaci vznikají odstředivé síly, díky kterým se prachové částice zachytávají na stěnách cyklonu a posouvají se po povrchu směrem do třídícího zařízení, tzv. síta, kde se zachytí hrubé nečistoty. Recyklovaný prášek je zpět do zásobníku (1) vrácen pomocí peristaltického dopravníku. Výstupní odsátý vzduch z cyklonu (5) je filtrován a zbaven zbytků prášku a jiných částic v koncovém filtru (6). Celý proces nanášení je řízen za pomoci řídicího systému (7).



Obr. 12 Cyklus nanášení PNH v práškovací kabině [52]

V případě lakování malé série dílců, kde se nevyužívá automatizace ale obsluhy a pouze lakovacích boxů, není ekonomicky výhodné provádět recyklaci. Jednak z důvodu, že k recyklaci by bylo jen velmi malé množství zbylého prášku a z důvodu zdoluhavých prostojů, způsobených čistěním prostor lakovacího boxu. Vzniká tak směs různých typů prášků a barevných odstínů, které už nejsou dále využitelné. V lakovnách, kde se provádí lakování malých sérií, tak vzniká velké množství odpadního prášku. Tyto směsi prášků je možné likvidovat ve spalovnách, nebo je ponechat ve stavu, kdy je zamezeno jejich rozprašování a uskladnit je na skládkách, ale to pouze za předpokladu že neobsahují žádné toxické složky. [33][18]



Obr. 13 Zpracování odpadních PNH [33]

Likvidace odpadního prášku na skládkách nebo spalovnách, představuje zátěž pro životní prostředí, a proto není tou nejlepší variantou. Prášek je totiž možné dále recyklovat, takže i z hlediska ekologie je tím nejvýhodnějším řešením odpadní PNH předat firmě, která má povolení k výrobě PNH, právě z odpadních prášků (obr. 13). [15][18]

Avšak zpracování těchto prášků je vzhledem ke stále měnícímu se složení časově náročné. Pro výrobce, zejména pro ty velké to představuje snížení výrobních kapacit. Takže zpracování odpadních prášků je zajímavé pouze pro malé firmy.

Pro recyklaci odpadních PNH je třeba odstranit mechanické nečistoty (obr. 14). Od nové barvy se liší především velikostí částic, kdy v odpadních prášcích jsou částice jemné, které se hůře nabíjí a tím i špatně nanášejí na lakovaný povrch, a proto se hromadí v zásobníku. Ze stejného důvodu jsou v odpadu nahromaděny i největší částice obsažené v původní barvě, těch je ale poměrně málo. Při procesu recyklace je proto nutné změnit distribuci velikosti částic, což je možné provést tím, že odpadní prášek projde kompletně celou výrobní operací práškových nátěrových hmot. Proces představuje extruzi, mletí a prosévání. Před vstupem do procesu musí



Obr. 14 Odstranění mechanických nečistot z odpadních PNH [34]

předcházet prosetí odpadního prášku, aby došlo k odstranění mechanických nečistot. Ty se do prášku dostanou např. z mechanického čištění, maskování, navěšování apod. Proto je nutné je odstranit dříve, než se dostanou do extrudéru, který by mohli i poškodit, a především by znehodnotili výsledný produkt. Kvalita recyklovatelného prášku je srovnatelná s kvalitou nových prášku, ale při výrobě je snadnější provést výrobu nového prášku v určitém odstínu s přidáním recyklovaného odpadního prášku.

Recyklace lze tedy považovat za perspektivní činnost jak z hlediska ekologie, tak i pro práškové lakovny, které hledají co nejlevnější práškovou barvu, aby co nejvíce snížili své výrobní náklady. [15][18]

### 4.3 Vytvrzování PNH

Hojně také nazýváno vypalování. Jedná se o poslední krok v technologickém postupu práškového lakování. Rozhoduje jak o vzhledu, korozi a chemické odolnosti, tak o mechanických vlastnostech povlaku. Při dosažení určité teploty vypalování, dochází



Obr. 15 Výstup z konvenční pece, dílce po vytvrzení PNH

u PNH (pouze u termosetických) k chemické reakci. Při této reakci dochází mezi molekulami pryskyřice a tvrdidlem k polymerizaci, mění se viskozita a dochází k zasítování (vzniku) trojrozměrné makromolekuly PNH. Při této reakci dochází ke spotřebě energie – tepla, které je pro správné vytvrzení nutné neustále dodávat a udržovat konstantní teplotu součásti. Konkrétní teploty a čas potřebný pro vytvrzení se odvíjí od použitého prášku, ale také od tloušťky stěn materiálů, druhu pece atd. [15][18]

- Pro vytvrzování se nejčastěji používají následující pece. V praxi je možné se setkat i kombinace těchto typů pecí, které se např. pro velké série konstruuji v sérii a vzniknou tak kontinuální pece s různými typy zdroji tepla a způsoby nahřívání povrch materiálu a PNH.
  - a) Pece konvenční
 

Jde o pece, které jsou ze všech metod vůbec nejpoužívanější, především pro svoji univerzálnost (obr. 15). Jako zdroj tepla jsou použity buďto plynové hořáky, nebo elektrické odporové zářiče. Plynové pece je možné dále vybavit tepelným výměníkem, který za pomoci soustav ventilátorů rozvádí teplý vzduch po celém prostoru pece, tak aby teplota byla co možná nejvíce konstantní. [24][46]
  - b) Pece s infračervenými paprsky
 

Ohřev spočívá v dopadu infračervených paprsků na povrch dílce. Odpadá ohřev lakovaného dílce a dochází tedy jen k ohřevu prášku na jeho povrchu. Tím je možné provádět vytvrzování i u materiálů, jejichž tepelná odolnost je relativně nízká. Vytvrzení je podstatně rychlejší a účinnější než vytvrzování v pecích konvenčních. Nevýhodou tohoto druhu vytvrzování je relativně malá účinnost u tvarově složitých součástí, protože různé záhyby brání přístupu záření. S výhodou je možné tuto metodu použít pro dílce s velkou tloušťkou stěny a vysokou hmotností, jako přehřev povrchu v kombinaci s následným vytvrzením plynovými hořáky, nebo odporovými zářiči. [24][46]
  - c) Pece s ultrafialovými paprsky
 

Pro speciálně upravené PNH s obsahem nenasycené polyesterové pryskyřice. Prášková nátěrová hmota je roztavována za pomoci infračerveného ohřevu, ale k samotnému vytvrzování dochází za pomoci ultrafialového záření, a to ve velmi krátkém časovém intervalu. Rovněž vhodné pro materiály s nízkou tepelnou odolností, zejména pak pro plasty. Kde teplota se pohybuje v rozmezích 90 °C až 120 °C. Mezi výhody se řadí krátké časy vytvrzování a minimální tepelné ovlivnění materiálu dílce. [24][46]
- Ovlivnění výsledného povrchu při nedostatečném vytvrzení PNH
 

Vždy se jedná o dopady negativní, které se při špatném vytvrzení nanesené práškové hmoty na povrch dílce projeví jednak ve vlastnostech fyzikálních, tak i ve finálním vzhledu lakovaného dílce. Je možné říci, že se jedná o závady, jenž je možné detekovat drsností povrchu či nerovnoměrnou strukturou na povrchu dílce, nebo vzniku “pomerančové kůry“. Což ovlivňuje i již zmíněné fyzikální vlastnosti povlaku, zejména pak křehkost a z ní plynoucí praskání povlaku, při působení mechanického namáhání. Tyto vady jsou často způsobeny špatným vytvrzením prášku v peci, ve které jsou špatně regulovány, nebo zvoleny teploty a časy vytvrzování, či nedostatečné technologické vybavení lakovny – často jde právě o vytvrzovací pece. [32]

## 4.4 Příprava povrchu pro práškové lakování

V kap. 4 Organické povlaky – práškové nátěrové hmoty (PNH), byly podrobně popsány principy této technologie, způsoby aplikace, filtrace a případně recyklace PNH. V této části budou popsány přípravy povrchu, které jsou nedílnou součástí technologie práškového lakování a bez těchto operací by nebylo možné dosáhnout požadovaných vlastností povlaku.

Při opracování výrobku nejen z kovů, dochází k jeho znečišťování, jednak látkami vázanými k povrchu mechanicky, ať už se jedná o mastnoty, zbytky past, mazadel, prach apod. či o látky vázanými chemicky (oxidy, rez, okuje apod.)

Tyto vázané nečistoty je třeba pro další postupy povrchové úpravy odstranit, nebo alespoň je minimalizovat na přijatelnou mez. Mechanické nečistoty lze odstranit chemickou předúpravou, nebo předúpravami mechanickými.

Mechanickou předúpravou je dosaženo požadované mikro – geometrie a mikrostruktury povrchu pro lepší přilnutí povlaku, dochází ke zpevnění povrchu materiálu a tím ke zlepšení mechanických vlastností (zvýšení pevnosti, meze únavy). Mezi mechanické předúpravy se řadí zejména otryskání, broušení, omílání, kartáčování, pískování a leštění. [24][46]

Chemické předúpravy povrchu využívají reakce chemického činidla s nečistotami na povrchu materiálu a řadí se mezi ně odmašťování a moření. Zvláště se jedná o různé mastnoty, zbytky brusných a leštících past, které přilnuli na povrch, nebo jde o produkt koroze a oxidace. Vrstva nečistot může být pro oko neviditelnou, ale zároveň může dosahovat i několika mm. [19][24]

Pro výběr metody, prostředků a technologie předběžné úpravy povrchu je zapotřebí zohlednit řadu činitelů, především [19]:

- Použitý výchozí materiál výrobku a jeho přesné chemické složení.
- Úroveň znečištění povrchu a zohlednění všech prováděných technologických operací zpracování výrobku.
- Zohlednění kombinace materiálů, druhy spojů, množství a rozměry dutin a spár aj.
- Množství výrobků, hromadná, nebo kusová výroba.

### 4.4.1 Mechanické předúpravy

Nepravidelnosti a poruchy povrchu před samotným nanášením práškové hmoty hrají významnou roli ve výsledné přilnavosti a kvalitě povlaku. Na přilnavost povlaku mají vliv adhezní síly, které je možné zvětšit především zvýšením aktivity a růstu členitostí povrchu. Toho lze dosáhnout právě mechanickými předúpravami, kterými je možné docílit požadované drsnosti povrchu, kdy druh mechanické předúpravy je potom volen s ohledem na drsnost povrchu. [24] [46]

Pro technologie práškového lakování je hojně využívána následující mechanická předúprava povrchu. [12]

#### • Otryskávání

Principem tohoto způsobu předúpravy je použití proudu tryskacího materiálu, který dopadá velkou rychlostí na povrch otryskávaného výrobku. Účinek tryskacího materiálu se odvíjí hlavně od jeho kinetické energie, zrnitosti, tvaru, tvrdosti a houževnatosti.

Požadované rychlosti je dosahováno buď za pomoci stlačeného vzduchu, kdy jsou částice proudem vzduchu unášeny směrem k trysce. Tryskací materiál se zde soustředí do svazku a je vystřelen proti otryskávanému povrchu. Druhý způsob využívá energii rotujícího



metacího kola, kdy do rotujících lopatek se přivádí tryskací materiál (obr. 18). Ten je unášen odstředivými silami a směřován na povrch otryskávaného výrobku. [24][36]

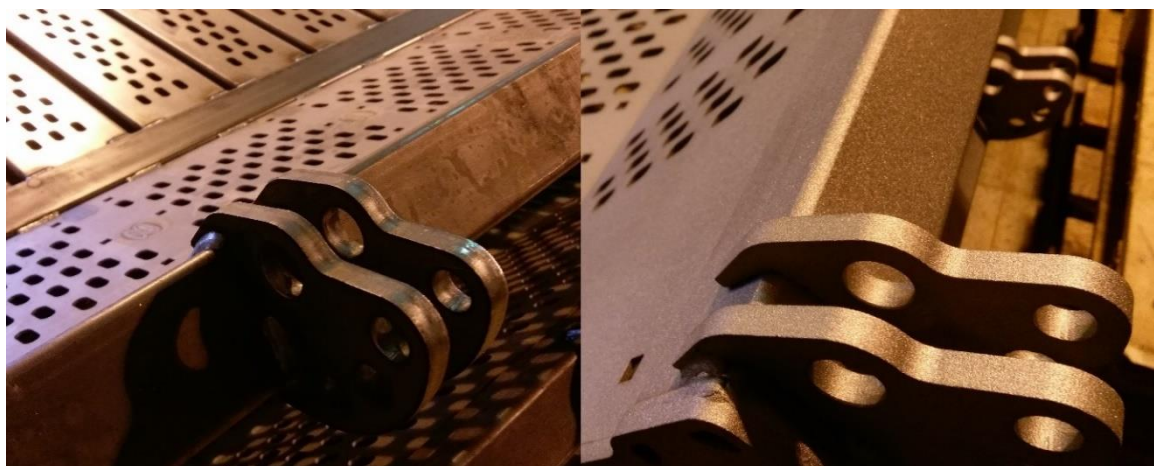
Vzduchových tryskačů (obr. 16) se hojně využívá pro tryskání v uzavřených komorách, nejčastěji obsluhované ručně. Je možné využít i automatizaci a tryskat za pomoci manipulátoru, jehož manipulační ruka obsahuje tryskací pistoli.



Obr. 16 Ruční tryskací komora bez zpětného sběru abraziva, rozměry 5000 x 2500 x 2500 mm

Způsob, kdy se využívá energie rotujícího kola se uplatňuje zejména u mechanických tryskačů, které mohou obsahovat různý počet metacích kol a konstruovány mohou být jako [46]:

- Stolový tryskač – tryskač s otočným kolem.
- Průběžný tryskač – pro tryskání velkých ploch a rozměrnějších dílců.
- Bubnový tryskač – pro tryskání menších dílců.
- Karuselový tryskač.



Obr. 17 Polotovár před otryskáním a po ručním otryskáním



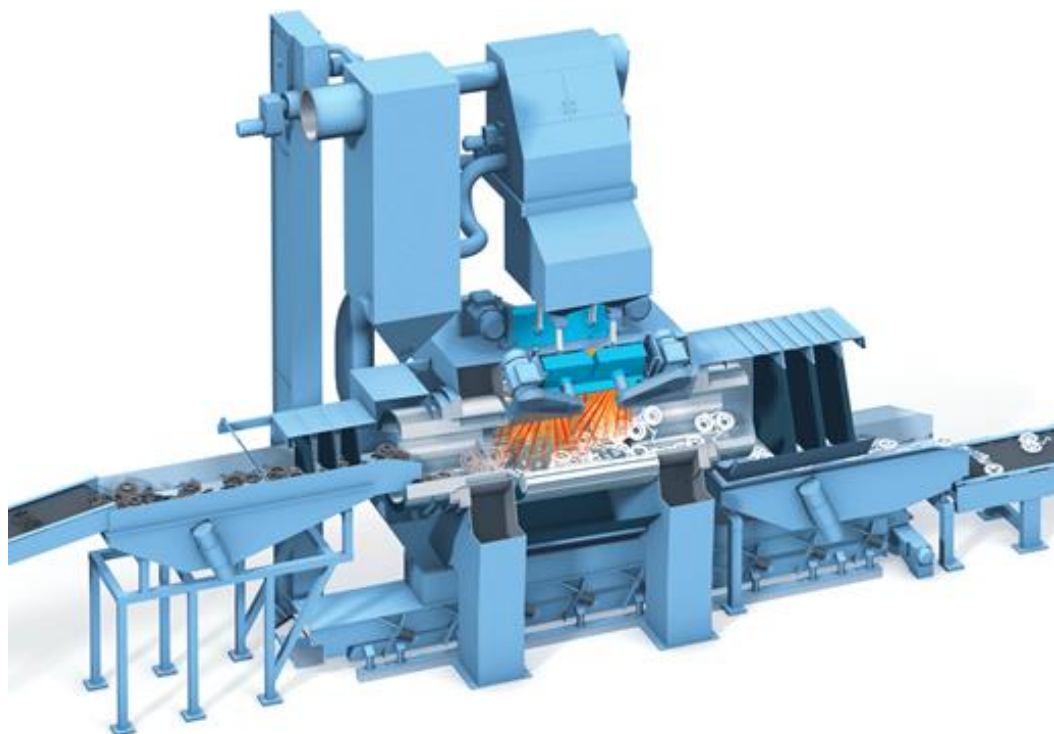
Kvalita, resp. čistota otryskaného povrchu se zjišťuje měřením za pomoci parametru  $S_a$ , což představuje stupeň očištění povrchu. Pro tryskání je standartní hodnota  $S_a$  2,5 a představuje velmi důkladné otryskání se stopami stínování po nečistotách. Na obr. 17 je zobrazen polotovar v neotryskaném stavu a po otryskání se stupněm očištění  $S_a$  2,5. [46]

Tryskací materiál lze rozdělit podle několika různých hledisek na nekovové/kovové, invazivní/neinvazivní, ostrohranné/sférické, každý z těchto materiálů má svoji oblast použití. [24][46]

Tryskací materiál je dostupný vždy v různých zrnitostech a důležité je také nastavení parametrů zařízení, např. u ručního tryskání je to úhel a vzdálenost trysky od otryskávaného výrobku či nastavení pracovní tlak apod. [24]

Mezi nejčastěji používaný tryskací materiál se řadí [45]:

- Ocelová drť – pro tryskací kabiny s tlakovým zařízením s uzavřeným okruhem. Velice vhodný jako předúprava pro práškové lakování, kde vykazuje vysokou účinnost i ekonomickým ukazatel.
- Ocelové kuličky – možné využít v tlakových zařízeních ke zpevnění mechanicky namáhaných dílců, jako jsou ozubená kola apod. Nejvíce se využívají v mechanických tryskačích s metacímí koly. Tím, že neobsahují ostré hrany, nedochází k takovému opotřebení metacímí lopatek a jiných dílů metacího kola.
- Sekaný drát – v podstatě náhražka ocelové drti, je však dostupná i z neželezných materiálů.
- Syntetický korund – pro ostrohranné tryskání k dílům z barevných kovů, kde je nežádoucí kontakt povrchu s ocelí. Výhodou je velký čistící účinek vlivem neustálého štěpení, což zaručuje neustále ostré hrany. Zejména pro tryskání velmi slabých plechů s využitím před dalšími procesy, jako je např. balotínování.
- Granát – totožné vlastnosti jako zmíněný korund. Jde o přírodní produkt, a tudíž není ani dostupný v takovém množství zrnitostí.



Obr. 18 Ukázka tryskacího stroje [32]

Hodnocení otryskaného povrchu probíhá podle ISO 8501 a ISO 8502 a pokud povrch nesplňuje potřebné požadavky, proces tryskání se opakuje.

Po otryskání je nutné povrch zbavit zbytků nečistot, prachu a abraziva, čehož je většinou dosahováno použitím čistého stlačeného vzduchu zbaveného vlhkosti a olejů. Vždy ale záleží na konkrétním znečištění a na způsobu dalšího zpracování. Po otryskání totiž povrch velice rychle podléhá korozi, proto je dobré pro zajištění požadované kvality finálního povrchu provést chemické čištění povrchu, kdy dojde k úplnému odstranění zbylých nečistot, prachu atd. U ocelí by měla následovat i pasivace povrchu s následným sušením pro omezení vzniku oxidační vrstvy. Povrch je následně zkontrolován a pokud splňuje požadovanou kvalitu, následuje samotné nanášení práškové nátěrové hmoty. [46]

#### 4.4.2 Chemická předúprava

Jak už bylo uvedeno v kap. 4.4 příprava povrchu pro práškové lakování lze chemickou předúpravu charakterizovat jako souhrn chemických interakcí mezi činidlem a znečištěným povrchem výrobku. Kde účelem je upravovat jakost povrchu na takovou úroveň, která bude vyhovovat danému druhu povlaku, který je po této operaci zamýšlen. Mezi základní chemické úpravy se vedle alkalického odmašťování řadí moření, chemické leštění, elektrochemické leštění a odmašťování organickými rozpouštědly. [46]

Chemická předúprava se využívá zejména těsně před následným nanesením práškové nátěrové hmoty. Což je dáno především z důvodu, že povrch má velkou náchylnost podléhat opětovné korozi a snižovat povrchové napětí, s čímž je spojeno následní snižování přilnutí práškové nátěrové hmoty k povrchu dílce. Korozi je možné alespoň částečně zpomalit následnou úpravou – neutralizační oplach a pasivace. [46]

Proces chemické předúpravy je možné rozdělit podle použité základní složky v čistícím prostředku na:

- alkalické roztoky,
- organické rozpouštědla,
- anorganická rozpouštědla,
- elektrolytické odmašťování.

Pro technologii nanášení povrchové úpravy za pomoci práškové nátěrové hmoty se využívá zejména alkalické odmašťování či odmašťování v organických rozpouštědlech. Proto se další část bude věnovat právě této problematice. [24][12]

#### • Odmašťování v alkalických roztocích

Alkalické odmašťování je poměrně složitý, ale hojně rozšířený proces předúpravy. Principem spočívá v neutralizaci a přechodu mastných kyselin do roztoku jako rozpustná mýdla. Takto lze snadno odstranit rostlinné a živočišné tuky. Mastnoty minerálního původu jako oleje a vosky totiž nezmýdelňují. Tudíž je jejich odstranění složitější. Probíhá teprve za zvýšené teploty tím, že emulgují ve formě drobných kapiček do roztoku odmašťovadla. Mastnota v roztoku se následně usazuje – zmýdelňuje a usazuje se na hladině zásobníků. Ze zásobníků je odpadní vodu nutné likvidovat (neutralizovat) v čističkách odpadních vod. Nejčastěji se provádí ponorem, nebo postřikem, kdy teplota roztoku u oceli by měla dosahovat alespoň 80 °C, při postřiku nejméně 60 °C. Doba ponoru či postřiku je závislá na stupni znečištění a členitost povrchu. Pohybuje se okolo 3 min až 10 min. Pro změkčení vody se přidávají fosfáty. Za účinnější se považuje odmašťování postřikem, neboť je účinnost zvýšena právě tlakovým postřikem roztok odmašťovacího přípravku. Po aplikaci

následuje oplach demineralizovanou vodou pro snížení koroze. Na obr. 19 je ukázka aplikace alkalického odmašťovacího prostředku za pomoci vysokotlakého čističe. Alkalické odmašťovací prostředky obsahují louh nebo sodu, fosforečnany, uhličitany, křemičitany, povrchově aktivní látky a emulgátory. Výhodou alkalického odmašťování je jak ekonomická složka, tak technologická jednoduchost, a to pak zejména při spojení s ostatními operacemi předúpravy povrchu do průběžných lakovacích linek.

Nevýhodou je především nutnost vyhřívat lázně na vysokou teplotu, což při velikosti lázni je velice nákladné z hlediska spotřeby elektrické energie. Další nevýhodou je ekologická zátěž ve formě fosfátu přidávaných do roztoků a samotný vznik odpadní vody s velkým obsahem anorganických solí s polyfosforečnany. [24][46]



Obr. 19 Ukázka ručního alkalického odmašťování v neprůchozí kabině [1]

#### • **Odmašťování v organických rozpouštědlech**

Organické rozpouštědla rozpouštějí mastnoty s poměrně dobrým čistícím účinkem a tím uvolňují i další ulpělé nečistoty na povrchu. Jedná se o rychlé a jednoduché odmašťování, kdy se hodí pro předběžné čištění od hrubých vrstev jako jsou oleje tuky, ale také při složité členitosti povrchu dílce. Při ukončení procesu čištění za pomoci organických rozpouštědel je nečistota snadno odstraněna, oleje a maziva deemulgovány.

Mezi výhody patří výborné odmašťovací schopnosti. Při využívání čistících lázní nevznikají téměř žádné odpadní vody, protože za pomoci technických opatření jsou uvolněné nečistoty odstraněny z čistící lázně. Tímto je dosaženo velké životnosti a hospodárnosti.

Nevýhodou jsou potom dlouhé časy potřebné k zaschnutí, protože z důvodu hořlavosti těchto rozpouštědel není možné následně odmaštěný dílec sušit a neschopnost odstraňovat z povrchu soli. Z hlediska ekologie vzniká velká zátěž při likvidaci vyčerpané lázně. V dnešní době je snaha tyto rozpouštědla značně omezovat, nebo alespoň nahrazovat rozpouštědly ekologicky šetrnějšími. [24][46]

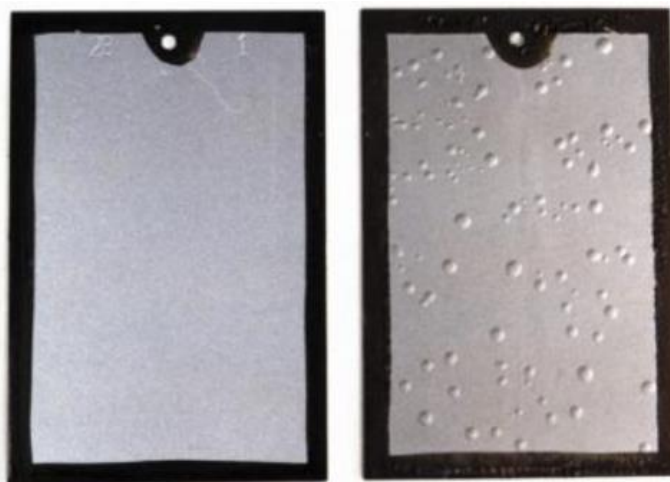


## 5 LABORATORNÍ ZKOUŠKY POVRCHOVÝCH ÚPRAV KOVŮ

Na povrchové úpravy kovů je kladen požadavek, aby byly schopny zajistit dostatečné a požadované vlastnosti, minimálně po funkční dobu výrobku. Z toho důvodu je třeba volit správnou povrchovou úpravu. Následně provést testování a zkoušky, kterými je možné ověřit požadovanou kvalitu povrchu. Zkoušky je třeba z ekonomických a časových důvodů provádět v urychleném časovém horizontu. Jde o laboratorní zkoušky, kdy jsou použity různé vlivy (vnější činitele) ovlivňující povrchovou úpravu, nebo je zvolen kvalitativní parametr, kterým je úprava ohodnocena. V praxi se hojně uplatňují následující zkoušky [46][20]:

- Použití atmosférických vlivů

Jedná se o typický představitel vlivu působící na povrchovou úpravu materiálu. Mezi přední činitele ovlivňující povrchovou úpravu lze zařadit vlhkost, resp. dobu zvlhčení, teplotu (vysokou a nízkou), sluneční záření, korozní stimulatory, případně jejich kombinace a různé úrovně intenzity působení. U nátěrů dochází k difuzi vlhkosti a snižování adheze povlaku k základnímu nátěru, což způsobuje stárnutí povrchu, viz obr. 20 U kovových povlaků urychlují zhoršené klimatické podmínky vznik koroze apod. [55]



Obr. 20 Vlevo zkušební vzorek opatřen ochranným nátěrem, vpravo vzorem po tepelně-vlhkostní zkoušce s výrazným zpuchýřováním [55]

- Zkoušky zářením

Využívá se různých typů záření, které se odvíjí od použitého zdroje záření. Mohou simulovat buď kompletní spektrum slunečního záření, nebo jenom jeho část. Zkoušky mají význam zejména u organických materiálů, které jsou citlivé na ultrafialové (UV) záření. Díky těmto zkouškám je možné zjistit rychlost stárnutí materiálu a změnu jeho barevného odstínu, což je u této zkoušky takřka nejvíce sledovaný parametr. Vyhodnocování probíhá porovnáním testovaného dílce buď s etalonem za přesně stanovených reprodukovatelných podmínek, nebo porovnáním s barevnou stupnicí RAL. Také je možné použít měřicí techniku tzv. kolorimetrů či spektrofotometrů. [55]



- Korozní zkoušky

V podstatě nejdůležitější zkouška povrchových úprav. To je dáno tím, že většina dnes používaných povrchových úprav je prováděna převážně za účelem ochrany základního materiálu před korozí. Zkoušky je možné provádět buď jako kondenzační testy, nebo zkoušky založené na zkoušení v tzv. solné mlze. [55]

- Měření tloušťky povlaku

Tloušťka nátěru představuje hlavní parametr ovlivňující výsledky chemických a mechanických zkoušek i povětrností odolnosti. Tloušťka je udávána v mikrometrech a je možné ji změřit buď nedestruktivně, viz obr. 21, nebo metodou vířivých proudů. Druhou skupinu představují zkoušky destruktivní, což je zkouška vpichová, nebo metoda mokré stopy. [55]



Obr. 21 Digitální tloušťkoměr [48]

- Hodnocení jakostních ukazatelů povlaků

Tyto zkoušky mají za cíl provést hodnocení vybraných jakostních ukazatelů povlaků. Nejběžněji je hodnocen stupeň ochrany povrchové úpravy, resp. známek změn či poškození, jak samotné povrchové úpravy, tak základního materiálu.

Existuje nespočet způsobů hodnocení, a pro jeho správnou volbu se nevychází jen z použité povrchové úpravy, ale i ze předpokládaných požadavků. U nátěrů ať už PNH nebo tekutých nátěrových hmot se používají způsoby, které hodnotí stupeň zpuchýřování, či míru koroze základního materiálu. U nátěrových hmot i stupeň přilnavosti k materiálu, viz obr. 22. Nejčastěji prováděná metoda je tzv. mřížková zkouška. Principem je vytvoření rovnoběžných řezů do vrstvy povlaku v předem stanovené vzdálenosti. Následně jsou vytvořeny další řezy kolmo na řezy předchozí. Na



Obr. 22 Odrhomer [4]

povrch je přilepena lepicí páska, která je následně stržena. Stupeň adheze je potom určen dle toho, jak velká část vzorku byla odstraněna s lepicí páskou a jaká část zůstala na vzorku. Dalšími zkouškami jsou různé zkoušky ohybové a vrypové, zkoušky stanovující povrchovou a celkovou tvrdost, či zkouška hloubením atd. Kovové povlaky jsou

nejčastěji hodnoceny dle stupně korozního poškození ať už základního materiálu, nebo povlaku. Tato korozní poškození mají různorodý charakter, pro které jsou dnes sestaveny předepsané postupy a předpisy. [55][12][20]

## 6 METODIKY PRO HODNOCENÍ ZÁTĚŽE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

K hodnocení dopadů na životní prostředí nejen vlivem technologií práškového lakování existuje nespočet metodik. V následující části této diplomové práce budou uvedeny nejvíce používané a rozšířené metody, které je možné aplikovat a získat tak požadované hodnocení zátěže životního prostředí.

### 6.1 Metoda hodnocení environmentálních rizik (ERA)

Neboli ERA – (z ang. environmental risk assesment) se zaměřuje na zdravotní rizika jednotlivých látek, které jsou přítomny v životním prostředí. Jedná se rovněž o metodu analytickou a podstatou ERA je jednak zdraví člověka a jednak „zdraví“ a funkčnost celého ekosystému. ERA se nejčastěji využívá k zhodnocení, zda zkoumaný systém (podnik, zasažená – kontaminovaná lokalita) vede k překročení často legislativně daných koncentračních limitů a je možné, že dojde k ovlivnění zdraví člověka a celého ekosystému. Zaměřena je především na zkoumání dlouhodobých dopadů, akutní a chronickou toxicitou působící na člověka. [15][41]

### 6.2 Metoda posuzování vlivů záměrů na životní prostředí (EIA)

Jde o proces EIA – (z angl. environmental impact assessment), který se zakládá na systematickém zkoumání a posuzování možného ovlivnění životního prostředí. Podstatou této metody je vhodně a komplexně popsat, zajistit a vyhodnocovat možné nepříznivé vlivy konkrétních záměrů na životní prostředí či veřejné zdraví. Tato metoda si klade za cíl zmírnit právě nepříznivé vlivy realizovaných projektů na životní prostředí.

V procesu EIA jsou brány v potaz nejčastěji technologie, stavby a činnosti, jež jsou v České republice zapsány v příloze č.1 zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí ve znění pozdějších předpisů. Jedná se tedy o nově budované výrobní haly, montovny, provozovny, ale také pokud dochází ke změně, např. rozšiřování, výměně používané technologie, rozšíření výrobní kapacity atd. EIA metoda na rozdíl od SEA metody se zaměřuje a popisuje již jednotlivé konkrétní záměry a plány, kdežto SEA je brána spíše obecněji s přihlédnutím na koncepční materiály s dlouhodobým výhledem na regionální úrovni, nebo dokonce na úrovni celonárodní. [37][30]

### 6.3 Metoda posuzování vlivů koncepcí na životní prostředí (SEA)

Jde o proces SEA – (z angl. strategic environmental assessment), jež v sobě zahrnuje jednak zjištění, popis a vyhodnocení případných přímých a nepřímých vlivů provedení i neprovedení koncepce a jejich cílů, v celém období, kdy se předpokládá provádění.

Cílem SEA je tedy předejití či zmírnění vlivů, které nepříznivě působí na životní prostředí, již ve stádiu plánů a studií. Součástí této metody je dle zákona aplikace zjišťovacího řízení, vypracování vyhodnocení k návrhu koncepce a vypracování výsledného stanoviska. Toto výsledné neboli závěrečné usnesení je pak důležitým podkladem pro schvalování koncepce. V České republice proces SEA taktéž upravuje zákon č.100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, ve znění pozdějších předpisů. SEA musí být pro svoji správnost výsledků aplikována systematicky jak bylo výše zmíněno v již nejranějším stádiu rozhodování, tak aby se brala v úvahu, a to v době, kdy se

zohledňují další aspekty např. sociální či ekonomické. Jedině v takovém případě je možné, aby byla brána se stejnou významností, jako další zmíněné aspekty.

Metoda SEA se na rozdíl od metody EIA zaměřuje více na pravděpodobnost, předpovědi a odborné podklady či jiné statistické metody. Což směřuje k tomu, aby byly předpovězeny vlivy možných budoucích vývojových koncepcí a směrů, čehož není možné dosáhnout v procesu projektové EIA. [37][31]

Mezi přínosy metody SEA se řadí [37]:

- ulehčení v rozhodovacím procesu,
- zahrnutí problematické udržitelnosti,
- vytváří tzv. základnu pro další následné zpracování dílčích projektů a zabezpečuje jejich včasné schválení,
- identifikace a posuzování kumulativních vlivů již v počátečních stádiích přípravy.

## 6.4 Metoda posuzování životního cyklu (LCA)

Neboli LCA (z angl. life cycle assessment) hodnotí enviromentální dopady na životní prostředí výrobků, služeb, či obecně lidských produktů. Jde o metodu analytickou, kdy k hodnocení dopadů na životní prostředí přistupuje s přihlédnutím na celý životní cyklus produktu. To znamená, že zahrnuje veškeré procesy a stádia od získávání surovin pro samotnou výrobu produktu, až po stádium odstranění a opětovného užití, nebo recyklace v něm použitých materiálů. Hlavní smysl metody LCA je v posouzení „od kolébky do hrobu“ se zaměřením na porovnání produktů splňujících stejnou uživatelskou funkci. LCA identifikuje ty procesy životního cyklu produktu, kde dochází k největší zátěži životního prostředí. Enviromentální dopady produktů se hodnotí na základě posuzování vlivu materiálových a energetických toků, jež sledovaný systém vyměňuje se svým okolím, tedy s životním prostředím.

Metodika LCA je obsažena v mezinárodních normách ČSN EN ISO 14000 a definována je jako soubor materiálově a energeticky propojených jednotlivých procesů, které vykonávají jednu, nebo více definovaných funkcí. V České republice je tato metoda zakotvena v následujících předpisech [3][15]:

- ČSN EN ISO 14040 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Základy a osnova.
- ČSN EN ISO 14041 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Stanovení cíle a rozsahu a inventarizační analýza.
- ČSN EN ISO 14042 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Hodnocení dopadů.
- ČSN EN ISO 14043 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Vyhodnocení životního cyklu.

### 6.4.1 Aplikace metody posuzování životního cyklu

LCA metoda se nejčastěji provádí ve čtyřech etapách a to [15]:

- určení cílů a vymezení rozsahu,
- aplikace inventarizační analýzy,
- hodnocení dopadů, které mají negativní vliv na životní prostředí,
- interpretace.



- **Etapu č. 1: určení cílů a vymezení rozsahu metody LCA**

V této části musí být jasně stanoveno co, a jak se bude posuzovat. Zejména stanovení specifikace posuzovaného produktu a jeho funkce. K tomuto určení a kvantifikování nám poslouží tzv. funkční jednotka. Dále je v této fázi nutné stanovit referenční tok. Což představuje množství produktu, které je třeba k naplnění funkční jednotky. Komplexnost studie LCA stanovuje hranice systému. Je také nutné transparentně vypsát přijaté předpoklady a omezení, vypsát metody kritického zhodnocení a typ, popřípadě formát výstupu studie LCA. [3][15][41]

- **Etapu č. 2: inventarizace metody LCA**

V této části dochází k vyčíslování a zjišťování všech energetických a materiálových toků, které vstupují do metody životního cyklu produktu a následně vystupují a ovlivňují, nebo působí v životním prostředí. Je možné říci, že se jedná o seznam všech vstupů a výstupů, které spojují pozorovaný systém s životním prostředím, tedy o sběr dat a posuzování, zdali jsou věrohodná a je možné je reprodukovat. Tento seznam můžeme nazvat sběrem dat, ze kterých je následně možné vyčíst informace o jednotlivých procesech životního cyklu produktu a z nich plynoucí materiálové a energetické náročnosti těchto procesů. Výsledky z této etapy jsou prezentovány pomocí tzv. inventarizačních tabulek, což představuje soupis informací, jaké látky či množství těchto látek se uvolnilo během celého životního cyklu produktu do životního prostředí a také kolik bylo spotřebováno přírodních surovin. Toto množství spotřebovaných surovin či emisí vypuštěných do ovzduší se vždy stahuje k referenčnímu toku posuzovaného produktu. Co se vstupů týče jde převážně o spotřebu přírodních surovin, materiálu a energie. U výstupů se jedná o produkci škodlivých látek a energií do ovzduší, půdy a samozřejmě také do vody, včetně uskladňování tuhých odpadů.

Výsledkem by měl být přehledný soupis kolik a jakých látek z okolního prostředí do celého systému vstupuje a kolik z něj vystupuje. Potřebná data se dnes nejčastěji získávají za pomoci [15]:

- přímého měření na místě,
- výpočtem,
- kvalifikovaným odhadem,
- literární rešerší a hledání v databázích.

Kdy za nejvíce spolehlivý a přesný způsob je považován způsob přímého měření, protože měření probíhá přímo na konkrétním posuzovaném místě a za přítomnosti samotných zpracovatelů studie. [15][41]

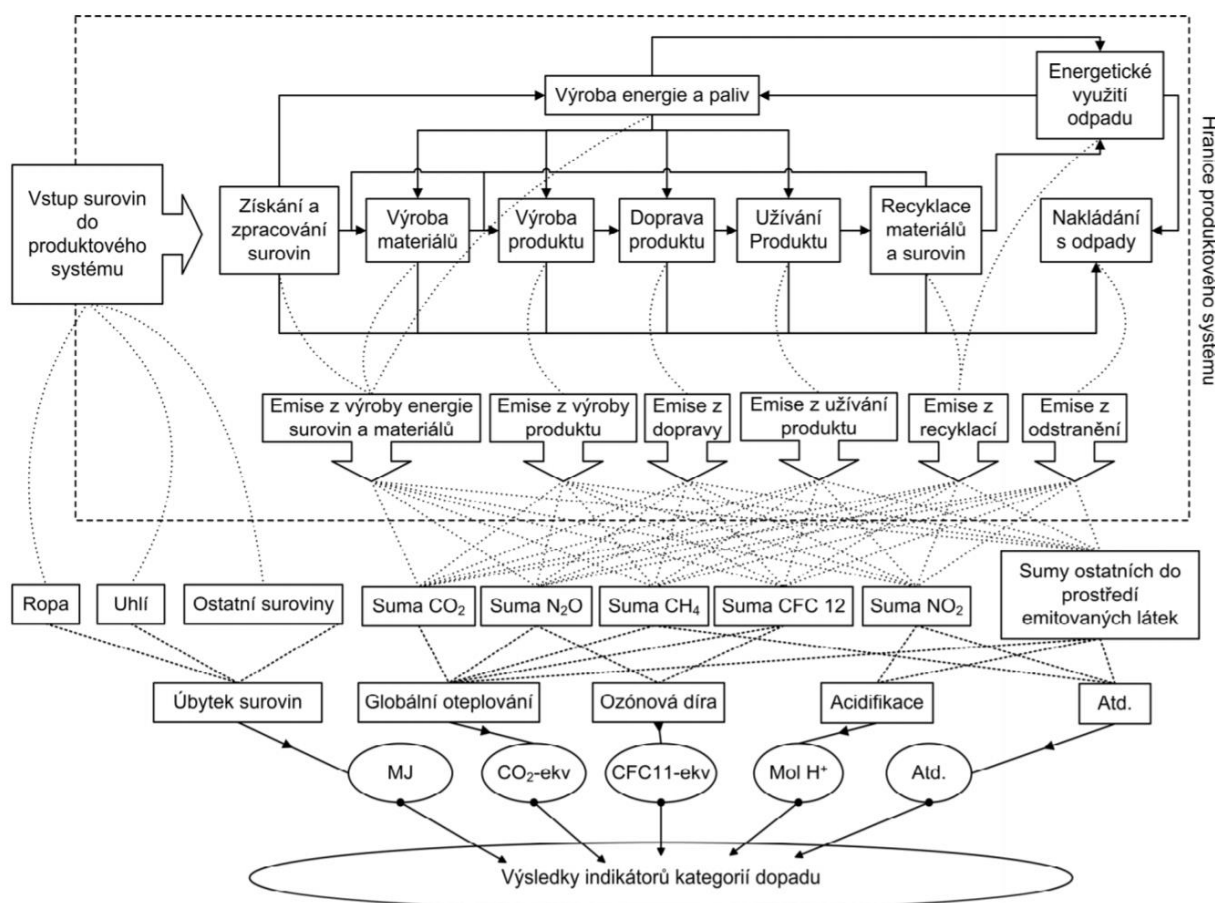
- **Etapu č. 3: hodnocení negativních dopadů**

Zde dochází k určení velikosti celkového negativního dopadu, jež daný životní cyklus produktu způsobuje v životním prostředí. Dá se říci, že dochází k vyjádření hodnot znečištění vhodně zvolenými veličinami jednotlivých kategorií dopadu. Dle ČSN EN ISO 14040 se hodnocení dopadů dělí do tří částí. První z nich je klasifikace, ta představuje rozřídění a přiřazení výsledků z inventarizačního hodnocení jednotlivým kategoriím dopadu. Následuje charakterizace, kterou dochází k vyčíslení míry působnosti materiálových a energetických toků do jednotlivých kategorií dopadů. Výsledek představuje tzv. charakterizační profil, který udává soubor výsledků indikátorů kategorií dopadů už s konkrétními hodnotami, a k nim odpovídající jednotky. Jedním z hlavních

přínosů metody LCA je právě převedení emisních toků vyjádřených hmotnostně na konkrétní problémy v životním prostředí. Standardně následuje po charakterizaci ještě normalizace, což představuje vyjádření relativní míry zasažení kategorií dopadu. [15][41]

#### • Etapa č. 4: interpretace

Představuje celkové zhodnocení dopadu zkoumaného systému na životní prostředí a přehlednou prezentaci zjištěných výsledků studie LCA. Důležité je vytvoření závěrečné zprávy, která kromě celkového popisu studie a zjištěných výsledků řeší všechny přijaté zjednodušení, odhady či předpoklady. Tyto předpoklady je pak možné testovat formou citlivostní analýzy. Závěrem metody LCA je tedy soubor zjištěných poznatků a soubor podmínek jejich platnosti, protože je velice důležité, aby veškeré hodnocení a postupy byly provedeny transparentně. Transparentnost je zde dokonce nutností, protože hodnocení životního cyklu se řadí mezi metodiky iterativní, tzn. představuje metodu, kdy se provádí po etapách a neustále dokola. Realizace získaných poznatků v jedné části etapy, ty jsou začátkem pro další etapy. Obr. 23 představuje zjednodušený model životního cyklu produktu s následným hodnocením environmentálních dopadů. [15][41]



Obr. 23 Zjednodušený model životního cyklu produktu a následného hodnocení environmentálních dopadů, především množství do prostředí emitovaných látek na výsledku indikátorů kategorií dopadů [38]

#### 6.4.2 Přínosy LCA metody

Metoda životního cyklu produktu představuje nenahraditelný analytický informační nástroj, který vytváří jak praktický, tak metodický postup při: [15][3][41]:

- Hodnocení produktu s ohledem na jeho celý životní cyklus.
- Přihlédnutí k funkci produktů nadefinováním funkční jednotky je možné porovnávat environmentální dopady.
- Vyjadřování rozsahu produktového systému jsou zavedeny hranice systému.
- Zásahu do životního prostředí je možné vyjádřit použitím definovaných kategorií dopadu, nikoli výčtem emisních toků.
- Identifikaci přenášení problému nejen v prostoru, ale i mezi různými kategoriemi dopadu.
- Využití iterativního postupu řešení.
- Analýze citlivosti pro definování postupů hodnocení kvality.
- Aktivním začleňováním kritického přezkoumávání do technického rámce provádění studií.
- Přenosu mezi fázemi životního cyklu produktu nedochází k přesunu emisí, protože studie LCA pracuje s celým životním cyklem, díky čemuž jsou započítány všechny emise ve všech etapách produktu a nedochází tak k milným studiím, kdy např. produkt, který během používání nevypouští žádné emise a tím je i šetrný k životnímu prostředí. Záhy při následné likvidaci zanechá spoustu nebezpečných látek atd.

I když je tato metoda aplikována nejčastěji na celý životní cyklus produktu, existuje možnost provést posouzení životní zátěže v pouze určité fázi životního cyklu produktu. Jedná se o značně zúžený rozsah studie a obecně je možné tento přístup nazývat „od kolébky k bráně“. Součástí takové studie je uvažování pouze části životního cyklu produktu od získávání surovin po ukončení výroby. Tudíž není uvažována ta fáze životního cyklu, ve které dochází k užívání produktu a jeho odstranění.

Metoda LCA představuje významný zdroj informací, které najdou využití pro další vědecko-technický rozvoj, který je zaměřen nejen na snížení negativního dopadu na životní prostředí, ale i na trvale udržitelné rozvoje. U této metody je možné říct, že nás učí jak lidská společnost a její technologie tvoří s přírodním bohatstvím jeden nedělitelný a nesmírně křehký kruh. [15][41]

- Existuje i mnoho dalších jak analytických, simulačních, tak optimalizačních metod. Každá z těchto metod má svá úskalí i přednosti a zejména potom pole působnosti či uplatnění. Rozdíly jsou v úhlu pohledu na danou problematiku, ať už se jedná o zaměření na látky, energii či na lidské aktivity, regiony aj. Některými metodami je možné vyjádřit dopady na životní prostředí za pomoci chemicko-fyzikálních veličin či využít biologických jevů. U jiných je možné použít monetární měřítko. Vzhledem k rozsáhlému využívání jednotlivých metod se také začalo postupem času přistupovat ke kombinaci jednotlivých nástrojů a vznikly tak různé hybridní metody, díky kterým je možné překonat různé slabiny (především interpretační) jednotlivých metod. [15][41]



## 7 POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU

Praktická část je vypracována ve spolupráci s firmou zabývající se povrchovými úpravami kovů a je zaměřena na posouzení environmentální zátěže procesem práškového lakování pomocí metody posuzování životního cyklu (LCA).

Po zhodnocení všech dostupných metodik pro hodnocení zátěže životního prostředí, zvážení možných variant řešení a provedení diskuze na téma metodik, které slouží k posuzování dopadů na životní prostředí, se bude tato diplomová práce dále zabývat metodikou LCA, tedy metodou posuzování životního cyklu tzv. formou od „kolébky k bráně“, kdy se nebude posuzovat produkt od jeho návrhu, až po likvidaci slastných surovin či případného recyklování použitých materiálů, ale zaměří se pouze na tu část výroby, kdy dochází k nanesení povrchové úpravy technologií práškového lakování.

Jak bylo již zmíněno v kapitole 6.4.1 Aplikace metody posuzování životního cyklu, studie LCA je sestavena celkem ze čtyř etap. V první části je třeba stanovit cíle a rozsah, tedy říci si co je předmětem této studie, komu je určena a kde bude studie použita, případně k čemu.

### 7.1 Stanovení cílů a rozsah studie LCA

Tato diplomová práce bude dále věnována posouzení environmentální zátěže procesu práškového lakování dílce „svařenec“ (obr. 15) jež vstupuje do posuzovaného procesu jako „surový“ neopracovaný kovový dílec, který je dle specifikací tvarován a svařen.

Posuzovaným procesem je technologie práškového lakování, kde hranice systému jsou omezeny od vstupní kontroly (příjemky dílce), po zchlazení a konečnou kontrolu nalakovaného dílce. Popsán sice bude celý technologický proces práškového lakování i s finálním balením a expedicí, ale vzhledem k rozdílným metodám balení u technologiích lakování tato operace nebude ve studii LCA zohledněna. Bude tak umožněno lepší porovnání výsledků této studie s vlivem na životní prostředí jiných technologií lakování.

Posuzovaný svařenec není sice totožný v celé výrobní sérii, což je patrné i z fotodokumentace na obr. 9, kdy mají dílce většinou rozdílný geometrický tvar, ale veškerá spotřeba vstupních surovin je totožná. To je dáno používanými technologiemi, stanovenými časy atd.

Funkcí práškového lakování je ochrana výrobku před povětrnostními vlivy a design. Jako funkční jednotka procesu práškového lakování bylo stanoveno lakování povrchu o ploše  $1 \text{ m}^2$ . Vstupní údaje se vztahují k lakování jednoho svařence o ploše  $0,75 \text{ m}^2$ . Následně výsledky budou přepočítány na  $1 \text{ m}^2$  a vyhodnocena celková energie.

Výstupy ze softwaru Boustead modelu 6.0 budou prezentovány v podobě emisí do ovzduší ( $\text{CO}_2$ ) a celkové spotřebované energie v MJ. Výsledky studie budou sloužit k interním účelům firmy.

## 7.2 Materiálové a energetické vstupy – inventarizační analýza

Další část je věnována popsání a shromáždění vstupních údajů k jednotlivým procesům lakování. Nezbytnou součástí inventarizační analýzy je vytvoření produktového systému posuzovaného procesu (obr. 27). Součástí této etapy inventarizační analýzy je použití databázového programu Boustead model 6.0, který umožňuje na základě vstupních údajů o spotřebě materiálů a energií získání informací o dopadu na životní prostředí.

Každý technologický proces je zatížen náklady, které se promítají do celkové ceny výsledného produktu. Náklady týkající se lakování představují tak jako ostatní technologie investice nejen jednorázové, ale i průběžné.

Jednorázové náklady tvoří z velké části zejména výstavba pracovních prostorů, pořízení strojů, náklady spojené s povolením, přípravou projektu apod. Po zahájení výroby dochází k odpisu těchto nákladů v určitém časovém období.

Průběžné či tzv. provozní náklady se na rozdíl od jednorázových nákladů podstatně mění v čase a jsou závislé na cenách energií, materiálů, dopravě atd., čímž je možné jejich hodnotu ovlivnit jen ve značně omezené míře. Vždy je možné v konkrétních případech dosáhnout omezení materiálových a časových ztrát. Což při správném nastavení procesů výroby, kontroly zařízení, logistice aj. povede k úspoře investičních nákladů.

Ze složitosti technologických procesů, které obsahuje práškové lakování je tedy zřejmé, že i u této technologie je velice důležitá úspora energií ať už se jedná o zemní plyn, elektrickou energii či vodu, je třeba tyto náklady patřičně zohledňovat, protože mají velký vliv na výslednou cenu produktu. V procesu lakování představuje kontinuální lakovací linka největší spotřebu energií, což dáno především požadovanou teplotou (cca 200 °C) pro vytvrzení práškové nátěrové hmoty, které je třeba dosáhnout a neustále ji udržovat, a také veškeré vedlejší energie jako stlačený vzduch, podpůrné technologie, osvětlení atd. Výsledná spotřeba energií potom představuje více jak 60 % z celkové spotřeby. [34][37]

### 7.2.1 Technologický proces práškového lakování a jeho vstupy

Proces práškového lakování je složen z několika operací, které se nejčastěji upravují či stanovují dle konkrétního typu lakovaného dílce. Zohledňuje se zejména chemické složení materiálu, předchozí zpracování, nebo požadované finální vlastnosti dílce.

Uvažovaným dílcem je svařenec (obr. 24), který je vyhotoven ze silnostěnné ocelové bezešvé trubky v jakosti ČSN 11 353. Dílec je zhotovován v několika tvarech a provedeních dle přání zákazníka. Samozřejmostí je odlišná volba finální barevné stupnice RAL.

U dílce tzv. svařence, který bude pro další část diplomové práce brán v úvahu je v konkrétních podmínkách firmy práškové lakovny sled operací přípravy povrchu a lakování následující:



Obr. 24 Svařenec před operací mechanického tryskání



1. **Vykládka svařence** – příjem dílce, kontrola dokumentace a množství, vstupní kontrola – kontrola vad a mechanického poškození. (vizuální kontrola zkorodování svarů, jejich provedení a prozkoumání celkového stavu svařence).
2. **Příprava pro mechanickou předúpravu povrchu** – v této části procesu probíhá očištění povrchu, tj. zbavení povrchu případné rzi, zbytků olejů, emulzí a tuků. Proces probíhá za pomoci ručního odmaštění a použito je organických rozpouštědel – Toluenu, který je nanesen na textilii a operátor provede očištění jednotlivých částí svařence.
3. **Mechanická předúprava tryskáním** – použito je ocelového abraziva a automatické tryskácké zařízení (obr. 18). Operátor provede položení svařence na vstupní rošt dopravníku průběžného automatického tryskače (obr. 24), který přesune svařenec do prostoru tryskácké kabiny. V této kabině proběhne samotné mechanické otryskání za pomoci ocelového abraziva Ervin Amasteel S170 a čtyř metacích jednotek. Tyto metací jednotky vrhají abrazivo na povrch svařence a dochází tak k mechanickému čištění. Otryskaný svařenec, obr. 25 je na výstupu stroje operátorem odebrán z roštu a přemístěn na manipulační palety. Vzhledem k tomu, že je tento proces velice prašný a dochází ke značnému znečištění, musí před operací chemického odmaštění a pasivace následovat.
4. **Příprava povrchu pro chemické odmaštění a pasivaci** – odstranění prachu z povrchu svařence. Použit je čistý, vysušený tlakový vzduch. Tuto operaci provede obsluha před umístěním svařence do odmašťovací kabiny (obr. 19) Přesun mezi pracovišti je zajištěn vysokozdvíhým vozíkem. Po této operaci následuje přesun do odmašťovací kabiny.
5. **Chemické odmaštění a pasivace povrchu** – proces probíhá jako vysokotlaké čištění s použitím DEMI vody a přípravku BONDERITE M-FE 3803 (koncentrace 3 % až 5 %) s teplotou roztoku 40 °C až 60 °C. Po této operaci následuje oplach DEMI vodou s maximální vodivostí 20  $\mu\text{S}$  / cm. Celý proces obsluhuje operátor, který mechanicky očištěný svařenec umístí do prostoru odmašťovací kabiny. Odmaštění se provádí pistolí vysokotlakého čističe. Po provedení všech kroků odmaštění následuje přemístění na manipulační palety a přesun vysokozdvíhým vozíkem do sušící pece.



Obr. 25 Svařenec po operaci mechanického tryskání

6. **Sušení svařence** – maximální sušící teplota je 130 °C a čas okolo pěti minut. Proces sušení svařence probíhá v boxové plynové peci. Po uplynutí stanovené doby je svařenec pomocí VZV vyjmut z pece do prostoru určeném pro chladnutí. Tento prostor se nachází u části lakovací linky, kde probíhá navěšování, takže není třeba další manipulace s VZV. Jakmile povrchová teplota svařence dosahuje cca 30 °C následuje.
7. **Navěšení svařence na lakovací linku** – zavěšení a ukotvení svařence na závěs dopravníku lakovací linky pomocí kovových háčků a operátora. Dopravník lakovací linky už je v této části procesu v pohybu, a tak následuje automatický posun svařence do lakovací kabiny.
8. **Nanášení práškové nátěrové hmoty** – proces probíhá v lakovací kabině za pomoci elektrostatického nanášení CORONA (obr. 10). Kabina je osazena celkem šesti automatickými lakovacími pistolemi, které nanášejí PNH na povrch svařence. Svařenec se pomocí dopravníku pohybuje směrem k peci. Mezi lakovací kabinou a pecí provede operátor vizuální kontrolu, zdali je na celý povrch svařence rovnoměrně nanášena PNH a svařenec je dále přesouván na dopravníku do vytvrzovací komorové pece.
9. **Vytvrzení nanášené práškové nátěrové hmoty** – proces probíhá v kontinuální (průběžné) plynové peci za teploty dané specifikací a technického listu výrobce práškové nátěrové hmoty – maximální teplota do cca 220 °C. Teplota je v peci automaticky monitorována a pravidelně se měří vypalovací křivky pro svařenec, pomocí kterých se případně upravuje vytvrzovací teplota, tak aby se docílilo maximální kvality povlaku. Po této operaci následuje dochlazení na dopravníku lakovací linky a následně je provedena konečná kontrola.
10. **Konečná kontrola kvality povrchu** – operátor lakovací linky provádí měření tloušťky vytvrzeného povlaku dle ČSN EN ISO 2360. Je možné provést také měření lesku – ČSN EN ISO 2813, nebo zjištění přilnavosti PNH k povrchu svařence tzv. mřížkovou zkoušku. Zkouška probíhá dle ČSN ISO 2409. Samozřejmostí je vizuální kontrola, kdy je zapotřebí hlídat různé vzhledové nedostatky, jako špatné vypálení, roztečení nadbytečného množství ulpělé práškové nátěrové hmoty (obr. 26).



Obr. 26 Špatné vytvrzení práškové nátěrové hmoty

11. **Balení a uskladnění, případně expedice** – konečnou fází procesu lakování je zabalení nalakovaného svařence. Zde je třeba hlídat maximální teplotu povrchu, aby nedošlo ke „zapečení“ k obalovému materiálu. Svařenec je balen do ochranného, pěnového polyetyleny a následně ještě do obalové fólie, tak aby nedocházelo k vzájemnému kontaktu svařenců a zabránilo se poškození povlaku. Takto zabalen je umístěn do přepravního boxů.

V tab. 1 je vytvořen soupis po sobě jdoucích operací, dle technologického postupu a k nimž jsou vždy přiřazeny jednotlivé materiálové a energetické vstupy. Z těchto vstupů plynou následně výstupy z jednotlivých procesů. Zohledněny jsou všechny technologické procesy potřebné pro nalakování svařence, které vykazují zdroje odpadů. Podpůrné procesy jako jsou přesuny svařence mezi pracovišti aj. není v tab. 1 zohledňováno.



Tab. 1 Proces lakování svařence s materiálovými a energetickými vstupy

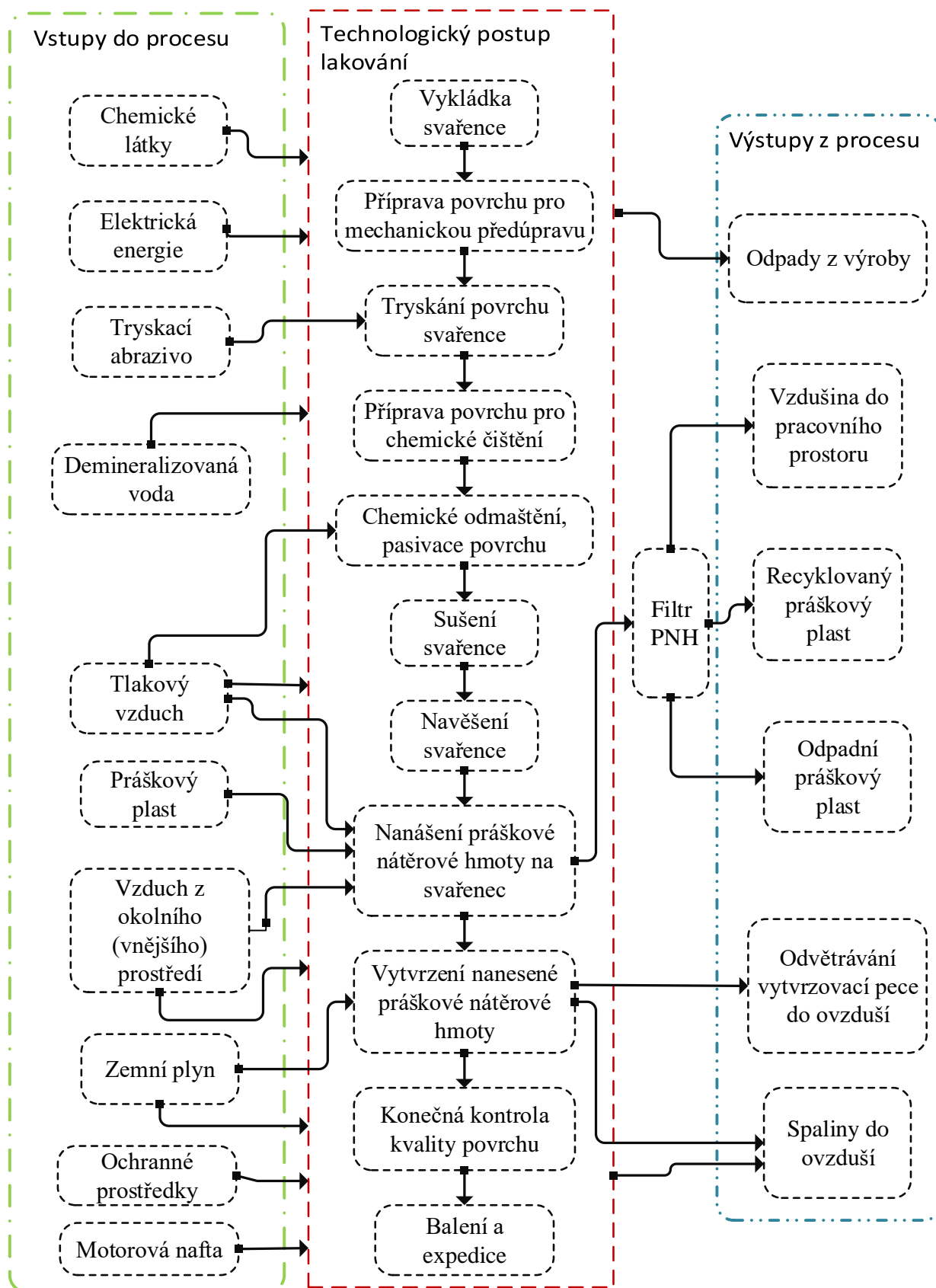
Proces číslo	Druh procesu	Energetické vstupy	Materiálové vstupy	Výstupy
1	Vykládka svařence	Motorová nafta pro pohon VZV	Ochranné prostředky (rukavice)	Použité ochranné prostředky, spaliny do ovzduší
2	Příprava povrchu pro mechanickou předúpravu	Elektrická energie na osvětlení pracoviště a odsávání motorová nafta pro pohon VZV	Toluen (rozpouštědlo), textilie, ochranné prostředky (rukavice, brýle, respirátory)	Odpady – zbytky rozpouštědla a textilie, obaly vstupních surovin, použité ochranné prostředky
3	Tryskání povrchu (mechanická předúprava)	Elektrická energie na pohon stroje, osvětlení pracoviště a odsávání	Abrázivo (ocelová drť) Tryskací ochranné prostředky (rukavice, overal, brýle)	Zbytky použitého abraziva, použité ochranné prostředky, vzdušina do ovzduší
4	Příprava povrchu pro chemické odmaštění a pasivaci	Elektrická energie na výrobu stlačeného vzduchu	Ochranné prostředky (brýle, rukavice)	Vzdušina do pracovního prostoru, použité ochranné prostředky
5	Chemické odmaštění a pasivace povrchu	Motorová nafta pro pohon VZV a na ohřev DEMI vody elektrická energie na pohon stroje, odsávání a osvětlení kabiny	Voda ohřátá na 60 °C + DEMI voda, odmašťovací přípravek, BONDERITE M-FE 3803, ochranné prostředky (rukavice, respirátor, overal, brýle)	Znečištěná odpadní voda, spaliny do ovzduší, vzdušina do ovzduší, použité ochranné prostředky
6	Sušení odmaštěného svařence	Elektrická energie na pohon stroje, osvětlení boxu a odsávání Zemní plyn na ohřev vzduchu, motorová nafta pro pohon VZV	Teplý vzduch cca 130 °C	Vzdušina do pracovního prostředí spaliny do ovzduší
7	Navěšení svařence na lakovací linku	Elektrická energie na pohon dopravníku linky a osvětlení linky	Ochranné prostředky (rukavice)	Použité ochranné prostředky (rukavice)
8	Nanášení práškové nátěrové hmoty na svařenec	Elektrická energie na výrobu stlačeného vzduchu, pohon stroje a osvětlení kabiny	Prášková nátěrová hmota Ochranné prostředky (rukavice, respirátor, overal, brýle)	Odpadní PNH, vzdušina do pracovního prostoru, recyklovatelná PNH, použité ochranné prostředky

Tab. 1 Proces lakování svařence s materiálovými a energetickými vstupy – pokračování

Proces číslo	Druh procesu	Energetické vstupy	Materiálové vstupy	Výstupy
9	Vytvrzování nanesené práškové nátěrové hmoty	Elektrická energie na pohon dopravníku linky, osvětlení linky a odsávání Zemní plyn pro ohřev vzduchu ve vytvrzovací peci	Teplý vzduch ohřátý na cca 200 °C dle specifikace PNH	Spaliny do ovzduší odvětrání vzdušiny z vytvrzovací pece do pracovního prostoru
10	Konečná kontrola kvality povrchu	Elektrická energie pro napájení měřících přístrojů a osvětlení pracoviště	Ochranné prostředky (rukavice)	Použité ochranné prostředky (rukavice)
11	Balení a expedice	Motorová nafta pro pohon VZV	Balící materiál, ochranné prostředky (rukavice)	Spaliny do ovzduší, odpady – obaly od vstupních surovin, použité ochranné prostředky (rukavice)

Lakovaný svařenec má hmotnost 17,6 kg a jeho celková plocha je 0,75 m<sup>2</sup>. Pro další výpočty v Boustead modelu 6.0 budou brány v potaz tyto hodnoty. Dílec se sice vyrábí v několika provedení – různé tvary, zaoblení atd., viz obr. 9, ze kterého je patrný daný rozdíl svařenců, ale vzhledem ke spotřebě vstupních surovin, jako práškové nátěrové hmoty, nebo demineralizované vody je spotřeba těchto surovin vždy stejná. Například při nanášení práškové nátěrové hmoty dochází vždy ke stále stejnému rozptýlu PNH, a tedy ke stejné spotřebě na různé tvary svařenců. Dáno je to instalovanou automatizací, která nerozlišuje tvary svařence. Takže tato studie je sice aplikována na konkrétní svařenec, ale vzhledem ke spotřebě bez ohledu na tvar by bylo možné převést studii i na celé série svařenců či výrobky podobného typu, tvaru, hmotnosti a lakované plochy.

Pro přehlednost je vypracován diagram (obr. 27), který zobrazuje jak procesy přípravy a lakování, tak materiálové i energetické vstupy potřebné pro nalakování povrchu svařence. Výstupem je tedy nalakovaný svařenec, který prošel celým procesem lakování až po finální kontrolu a je expedován či uskladněn. Společně s nalakovaným svařencem vznikají v jednotlivých procesech výroby i další „výstupy“, ty jsou však nežádoucí a je možné je označit za vedlejší produkty výroby. Všeobecně se jedná odpady, které mají negativní vliv na životní prostředí. Na tyto jednotlivé procesy bude dále vypracována studie LCA – neboli metoda životního cyklu, která bude zkoumat zátěž na životní prostředí právě těchto procesů. Z této provedené studie by mělo být zřejmé, jak moc tyto procesy ovlivní životní prostředí a které procesy by bylo vhodné podrobit dalšímu zkoumání, provést analýzy a doporučit vhodnou technologii či opatření, která povede ke snížení zátěže na životní prostředí.



Obr. 27 Diagram s technologickým postupem lakování svařence se zdroji a výstupy

## 7.2.2 Údaje o vstupech

Jak již bylo zmíněno, během procesu lakování svařence dochází k znečištění životního prostředí a k produkci jednotlivých druhů odpadů. V této části budou uvedeny podrobné informace o množství spotřebovaných látek, energií či plynů, kde díky těmto informacím bude následně možné zhodnotit jak moc a do jaké míry jednotlivé procesy ovlivňují životní prostředí.

- Materiálové a energetické zdroje

Pro provoz lakovny a proces práškového lakování je nezbytně nutná elektrická energie. V následující tab. 2 je uvedena spotřeba elektrické energie jednotlivými operacemi lakování svařence. Spotřeba elektrické energie na osvětlení a odsávání byla zohledněna pouze v těch případech, kdy zdroje světla a odvod vzduchu jsou součástí zařízení a aktivují se jeho spuštěním. Spotřeba elektrické energie na osvětlení, vytápění a ventilaci provozovny nebyla ve výpočtech zohledněna, jelikož tyto energetické vstupy plní podpůrnou funkci a nejsou součástí technologie práškového lakování. Spotřeba elektrické energie během procesu lakování je uvedena v tab. 2 a vztahuje se k jednomu kusu svařence s hmotností 17,6 kg a plochou 0,75 m<sup>2</sup>. Toto spotřebované množství elektrické energie bylo zjištěno přímým měřením na daných pracovištích za pomoci měřiče spotřeby elektrické energie tzv. digitální elektroměr pro přímé měření spotřeby elektrické energie.

Tab. 2 Přehled spotřebované elektrické energie v jednotlivých procesech lakování

Proces číslo	Druh procesu	Použití elektrické energie	Spotřebované množství na 1ks
1	Vykládka svařence	-	-
2	Příprava povrchu pro mechanickou předúpravu	Osvětlení pracoviště, odsávání	0,3 kWh
3	Tryskání povrchu (mechanická předúprava)	Osvětlení pracoviště, pohon stroje a odsávání	4 kWh
4	Příprava povrchu pro chemické odmaštění a pasivaci	Na výrobu stlačeného vzduchu	0,4 kWh
5	Chemické odmaštění a pasivace povrchu	Osvětlení kabiny, odsávání kabiny, pohon stroje	1,2 kWh
6	Sušení odmaštěného svařence	Odsávání, pohon stroje, osvětlení boxu	0,8 kWh
7	Navěšení svařence na lakovací linku	Pohon dopravníku lakovací linky a osvětlení linky	0,7 kWh
8	Nanášení práškové nátěrové hmoty na svařenec	Pohon stroje, osvětlení kabiny a na výrobu stlačeného vzduchu	1,1 kWh
9	Vytvrzování nanesené práškové nátěrové hmoty	Pohon dopravníku lakovací linky, osvětlení linky a odsávání	2,5 kWh
10	Konečná kontrola kvality povrchu	Osvětlení pracoviště, napájení měřících přístrojů	0,1 kWh

Pro přehlednost jsou v tab. 3 uvedeny všechny procesy, kterými lakovaný svařenec projde, než je zkontrolován a zabalen, a materiálové vstupy nezbytné pro realizaci těchto procesů. U těch procesů, kde dochází k použití materiálových vstupů, je uveden název, složení

a množství použitého vstupu. Součástí tabulky jsou i vstupy energetické ovšem v materiálové podobě (nafta, propan). Množství vstupu je vztaženo k jednomu kusu svařence s hmotností 17,6 kg a plochou 0,75 m<sup>2</sup>. Převážná většina uvedených hodnot byla získána odměřením a je vybrána průměrná hodnota. U přípravku Bonderite bylo množství stanoveno na základě výrobcem předepsané koncentrace na dané množství DEMI vody. Spotřebované množství propanu bylo zjištěno výpočtem z celkové spotřeby hořáku za dobu potřebnou pro sušení či vytvrzení jedné výrobní série (100 kusů) a přepočítáno na 1 ks svařence. Množství spotřebované PNH bylo stanoveno na základě plochy svařence (0,75 m<sup>2</sup>), průměrné tloušťky nanesené vrstvy PNH 85 μm a ztrát PNH vznikající během procesu nanášení.

Tab. 3 Přehled vstupů v jednotlivých operacích procesu lakování

Proces číslo	Druh procesu	Materiálový vstup	Seznam složek podle nařízení CLP(ES) č.1272/2008	Spotřebované množství na 1 ks
1	Vykládka svařence	-	-	-
2	Příprava povrchu pro mechanickou předúpravu	Rozpouštědlo Toluen	Toluen > 99 % Benzen <0,1 %	0,2 l
3	Tryskání povrchu (mechanická předúprava)	Abrázivo erwin amasteel S170	Legující prvky Křemík min 0,4 % Mangan 1,2 %	10 kg
4	Příprava povrchu pro chemické odmaštění a pasivaci	-	-	-
5	Chemické odmaštění a pasivace povrchu	Nafta motorová – palivo	Palivová nafta 100 % (Diesel)	0,6 l
		BONDERITE M-FE 3803	Kyselina fosforečná 5 % Dusičnan sodný 5 % Voda 90 %	1 l
6	Sušení odmaštěného svařence	Propan	Propan min. 90 %	1 kWh
7	Navěšení svařence na lakovací linku	-	-	-
8	Nanášení práškové nátěrové hmoty na svařenec	Prášková nátěrová hmota CPC 44-1	Oxid zinečnatý (Zinc oxide) 4,5 % Epoxydová pryskyřice 95,5 %	0,22 kg
9	Vytvrzování nanesené práškové nátěrové hmoty	Propan	Propan min. 90 %	3 kWh
10	Konečná kontrola kvality povrchu	-	-	-

- Voda

Během realizace technologie práškového lakování dochází ke spotřebě vody, která se používá pro předúpravu povrchu lakovaného svařence. Jedná se o vodu demineralizovanou (dále jen DEMI voda). Tato voda vzniká reverzně osmotickým (RO) procesem, kde je voda postupně zbavována rozpuštěných minerálních i organických látek. Vůči vstupní vodě jde o zbavení až 98 % těchto látek, čehož je dosahováno různými stupni filtrace. V této práci bude zohledněno pouze množství technologické DEMI vody potřebné pro nalakování jednoho svařence s hmotností 17,6 kg a plochou 0,75 m<sup>2</sup>.

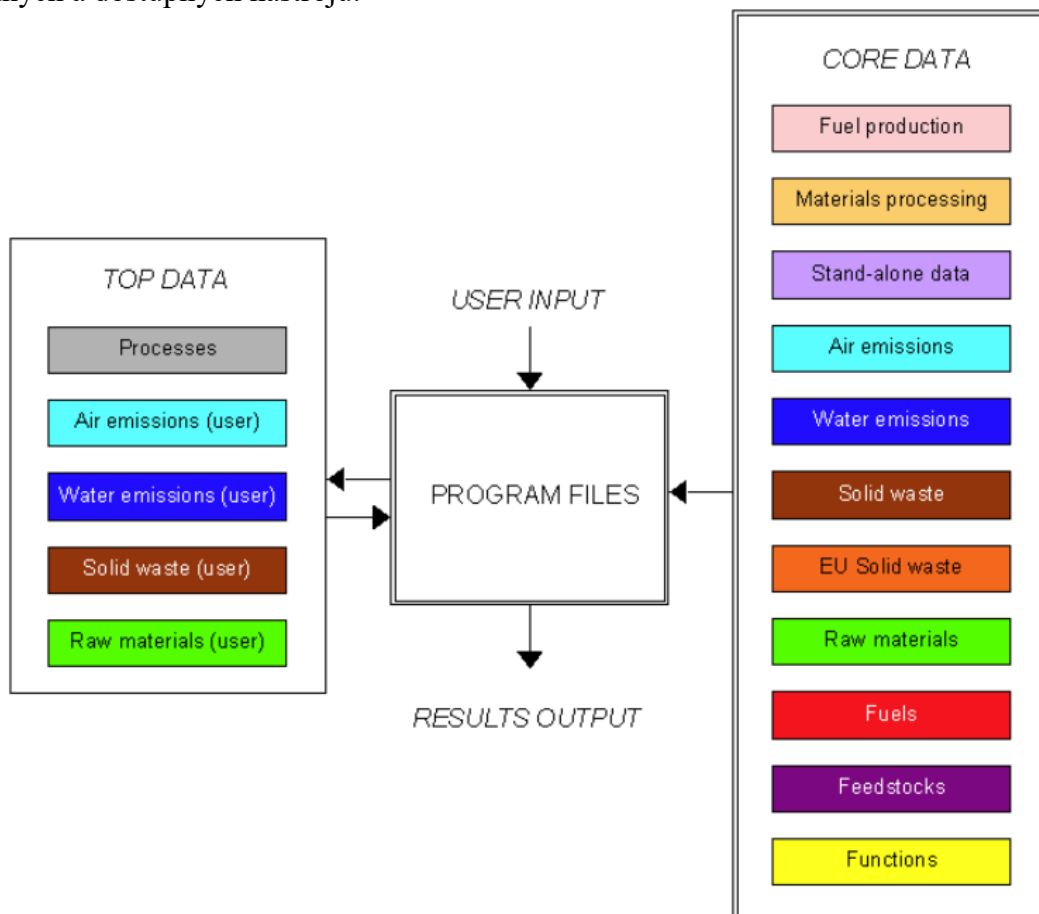
V následující tab. 4 je shrnuto množství DEMI vody použité během procesu lakování. Pro lepší orientaci jsou uvedeny všechny procesy lakování až po samotnou konečnou kontrolu kvality. K využití vody dochází téměř ve všech operacích, ale jedná se o použití, které není přímo spojeno s procesem práškového lakování. Měření tedy proběhlo pouze u těch procesů, kde docházelo ke spotřebě technologické DEMI vody. Tato měření byla provedena přímo na pracovišti za použití digitálního průtokoměru, a to opakovaným měřením a zprůměrováním zjištěných hodnot.

Tab. 4 Přehled využití technologické vody v jednotlivých procesech lakování

Proces číslo	Druh procesu	Použití technologické vody	Spotřebované množství na 1ks
1	Vykládka svařence	-	-
2	Příprava povrchu pro mechanickou předúpravu	-	-
3	Tryskání povrchu (mechanická předúprava)	-	-
4	Příprava povrchu pro chemické odmaštění a pasivaci	-	-
5	Chemické odmaštění a pasivace povrchu	Odmaštění, pasivace a oplach	20 l
6	Sušení odmaštěného svařence	-	-
7	Navěšení svařence na lakovací linku	-	-
8	Nanášení práškové nátěrové hmoty na svařenec	-	-
9	Vytvrzování nanesené práškové nátěrové hmoty	-	-
10	Konečná kontrola kvality povrchu	-	-

### 7.2.3 Software Boustead model 6.0

Inventarizační analýza byla provedena za pomoci softwaru Boustead model 6.0, který představuje rozsáhlou samostatnou databázi firmy Boustead Consulting Ltd. Tento software umožňuje provádět hodnocení zátěže životního prostředí dostupnými výrobními a dopravními operacemi a na jejich základě vytvářet vlastní operace. Samostatná databáze, která je součástí této softwarové aplikace představuje největší otevřenou a plně editovatelnou databázi. Vzhledem k dlouholeté působnosti na trhu je tato aplikace jedna z nejdetailnějších, snadno použitelných a dostupných nástrojů.



Obr. 28 Struktura Boustead modelu 6.0 [13]

Databáze je strukturována do dvou částí, tak jak je vyobrazeno na obr. 28, kde první část Core data pod sebou skrývá data pro 33 300 jednotkových procesů, které obsahují výrobu paliva a výrobní postupy pro téměř každou zemi (celkem 27 000 postupů), stejně tak více než 6 000 materiálových výrobních postupů. Všechny údaje o těchto materiálových výrobních vstupech jsou převzaty z průmyslu. Druhá část databáze Top data představuje místo až pro 6 000 jednotkových operací a je k dispozici pro tvorbu vlastních pracovních postupů. Tento způsob struktury aplikace dovoluje jednodušší vytváření komplexních struktur, jako například sítě a recyklační operace uzavřené či otevřené smyčky. Výstupní data mohou být zpracována v několika formátech či přímo importována do tabulky. [1][13]

Boustead model 6.0 kvantifikuje parametry, které jsou pravděpodobně zodpovědné za vliv na životní prostředí, což je součástí inventarizační analýzy životního cyklu. Dále určuje, které parametry pravděpodobně přispívají ke konkrétnímu environmentálnímu problému. [1][13]



#### 7.2.4 Hodnocení negativních dopadů pomocí Boustead modelu 6.0

Za pomoci Boustead modelu 6.0 bylo provedeno hodnocení negativních dopadů tak, že se postupně do software zadali materiálové a energetické vstupy, tj. spotřebovanou elektrickou energii a látky, které se vyskytují během procesu práškového lakování svařence. Následně bylo provedeno hodnocení negativních dopadů na životní prostředí vlivem energií a použitých látek během procesu lakování.

V první části hodnocení bylo provedeno posouzení ekologických dopadů výroby elektrické energie spotřebované během jednotlivých procesů práškového lakování. Vzhledem k tomu, že Boustead model 6.0 neobsahuje v databázi aktuální složení energetických zdrojů České republiky, bylo z hlediska zajištění kvality prováděné studie nezbytně nutné zajistit data aktuální a vytvořit v databázi softwaru novou operaci výroby elektrické energie v ČR.

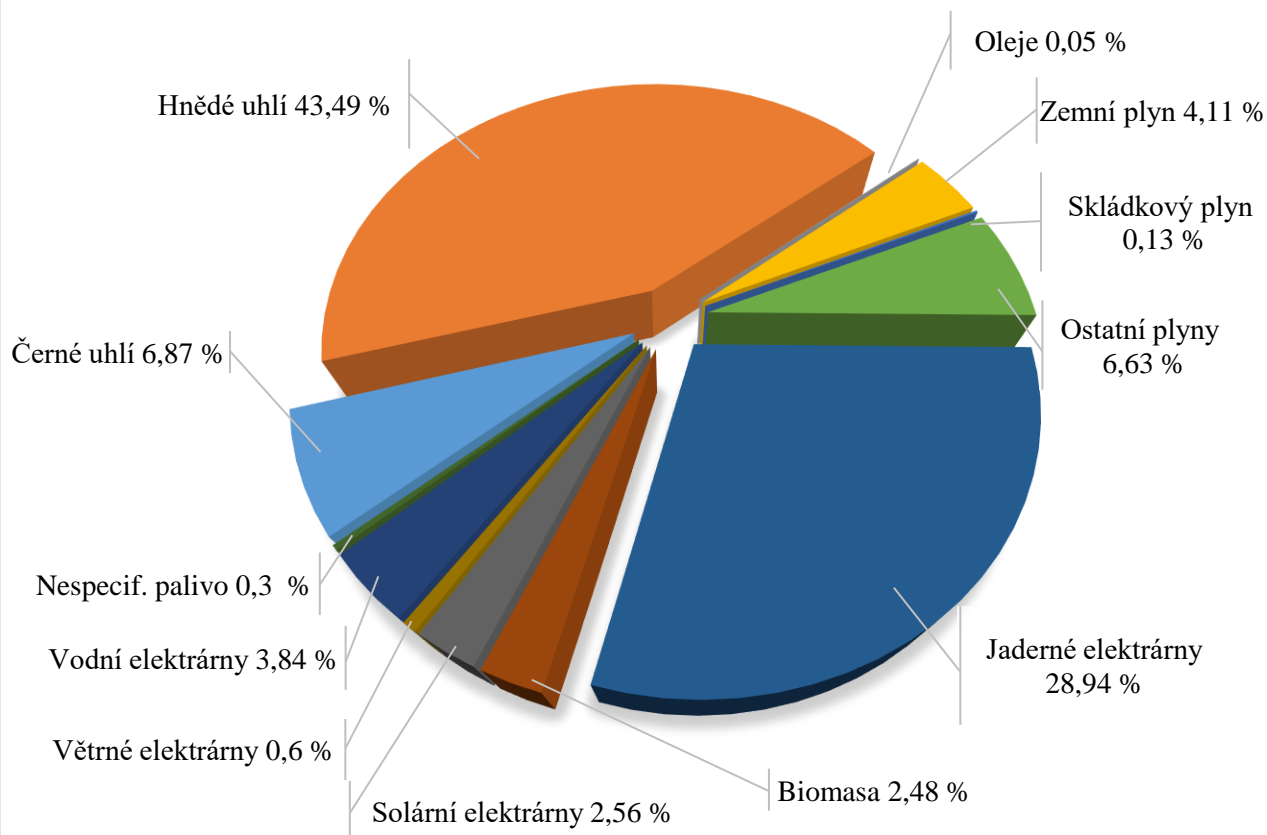
Nejnovější data, která se podařilo zajistit byla k roku 2016, viz tab. 5, která zobrazuje výrobu elektrické energie v České republice dle typu paliva.

Tab. 5 Výroba elektrické energie dle typu paliva v České republice pro rok 2016 [49]

Typ paliva	Množství	Jednotka	Množství v [%]
Černé uhlí	5720	GWh	6,87
Hnědé uhlí	36228	GWh	43,49
Oleje	44	GWh	0,05
Zemní plyn	3422	GWh	4,11
Skládkový plyn	110	GWh	0,13
Ostatní plyny	5527	GWh	6,63
Jaderné elektrárny	24104	GWh	28,94
Biomasa	2067	GWh	2,48
Solární elektrárny	2132	GWh	2,56
Větrné elektrárny	497	GWh	0,60
Vodní elektrárny	3202	GWh	3,84
Nespecifikované palivo	248	GWh	0,3
<b>Celkem</b>	<b>83301</b>	<b>GWh</b>	<b>100</b>



## Výroba elektrické energie dle paliv, ČR, 2016



Obr. 29 Procentuální zastoupení jednotlivých druhů paliv používaných k výrobě elektřiny v ČR [49]

V České republice bylo v roce 2016 spotřebováno 83,301 TWh elektrické energie, kdy výroba elektřiny je rozložena do několik druhů paliv, viz obr. 29, který graficky zobrazuje procentuální zastoupení jednotlivých druhů paliv podílejících se na výrobě elektrické energie v ČR. [49]

Při analýze databáze softwaru bylo zjištěno, že některé druhy paliv nejsou v databázi dostupné. Bylo proto nezbytné u některých druhů paliv provést seskupení s palivy s podobným složením a v databázi softwaru Boustead Model 6.0 dostupnými druhy těchto paliv. Následující tab. 6 poukazuje na sloučení některých paliv tak, aby byla dodržena podobnost a údaje sloučených paliv co nejvíce odpovídali reálnému zastoupení jednotlivých paliv podílejících se na výrobě elektrické energie v ČR. Spotřebované množství bylo také nutné pro další práci v software převést z GWh na MJ.

Tab. 6 Složení paliv pro výrobu elektrické energie po seskupení pro Boustead model 6.0

Typ paliva	Množství v [%]	Množství v [MJ]
Černé uhlí + hnědé uhlí + nespecifikované palivo	50,66	0,5066
Oleje	0,05	0,0005
Zemní plyn + ostatní plyny	7,57	0,0757
Jaderné elektrárny	28,94	0,2894
Biomasa	2,48	0,0248
Solární elektrárny	2,56	0,0256
Větrné elektrárny	0,6	0,006
Vodní elektrárny průtočné	1,92	0,0192
Vodní elektrárny přečerpávací	1,92	0,0192
Bioplyn	3,3	0,033
<b>Celkem</b>	<b>100</b>	<b>1</b>

Na základě zjištěných dat byla vytvořena operace výroby 1 MJ elektrické energie v ČR, která byla následně používána pro vytvoření operací výroby množství elektrické energie spotřebovaného během jednotlivých procesů práškového lakování, viz tab.2 a také pro tvorbu operací výroby materiálových vstupů. Z obr. 30 je patrné zastoupení jednotlivých druhů paliv, zadaných dle tab. 6 do software Boustead model 6.0.

THE BOUSTEAD MODEL - Version 6.0 - [Input Table]

File Edit Calculate View Print Transfer Tools Graphics Window Help

This program displays the input table for the operation selected.

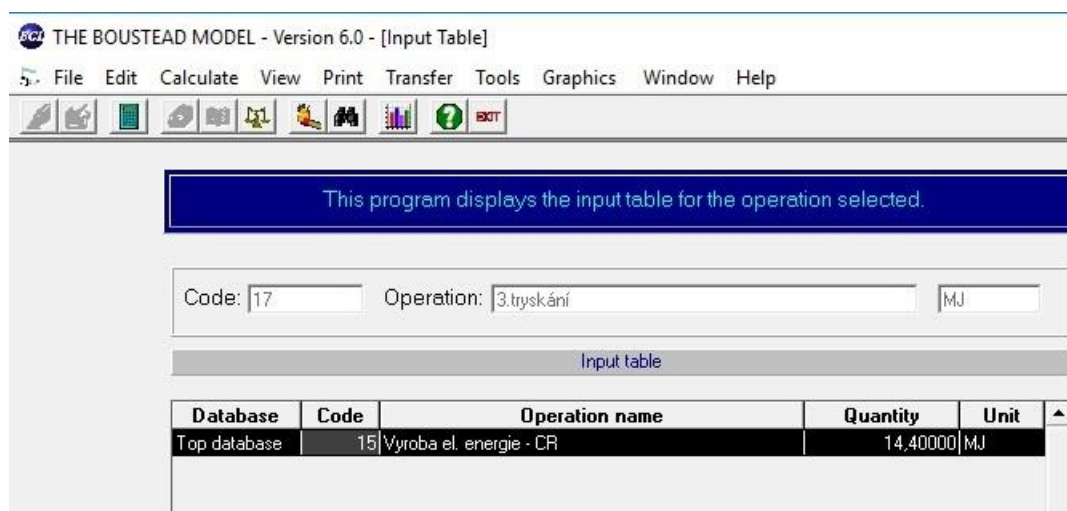
Code: 15 Operation: Výroba el. energie - CR MJ

Input table

Database	Code	Operation name	Quantity	Unit
Fuel prod. core	4865	Hydro electricity generation (virgin) - C	0,01920	MJ
Fuel prod. core	4867	Hydro-elec (pumped) generation -	0,01920	MJ
Fuel prod. core	4869	Nuclear electricity generation - CZ	0,28940	MJ
Fuel prod. core	4873	Solar electricity generation - CZ	0,02560	MJ
Fuel prod. core	4877	Wind electricity generation - CZ	0,00600	MJ
Fuel prod. core	4881	Thermal generation from coal - CZ	0,50660	MJ
Fuel prod. core	4882	Thermal generation from oil - CZ	0,00050	MJ
Fuel prod. core	4883	Thermal generation from natural gas - CZ	0,07570	MJ
Fuel prod. core	4888	Thermal generation from solid biomass - C	0,02480	MJ
Fuel prod. core	4889	Thermal generation from liquid/gas biomas	0,03300	MJ

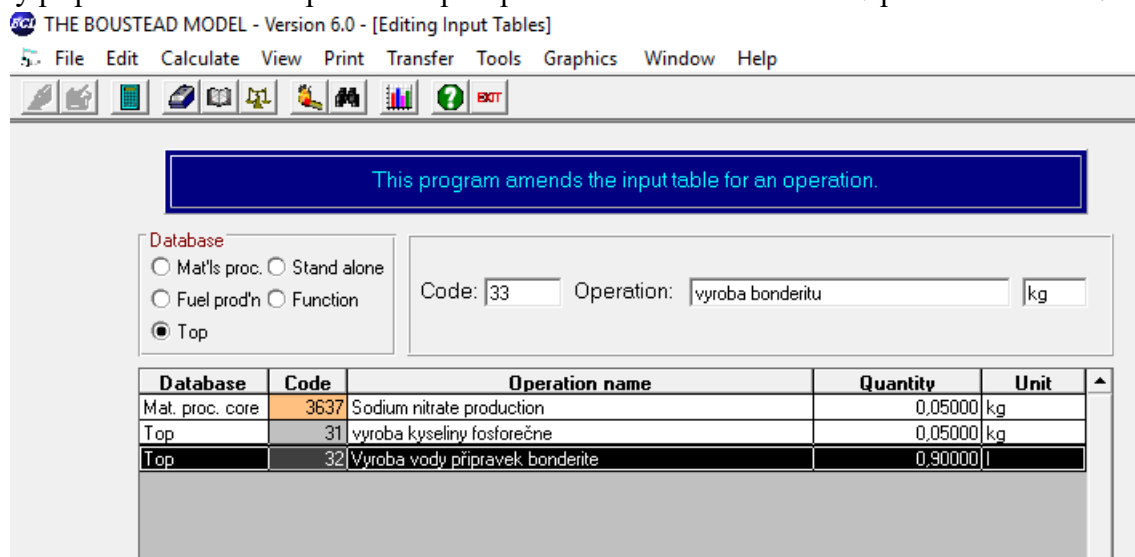
Obr. 30 Seznam paliv v ČR pro výrobu elektrické energie v Boustead model 6.0

Následně už bylo možné vytvořit v software jednotlivé procesy, které se dle tab.2 podílejí na spotřebě elektrické energie během procesu práškového lakování. Pro ukázkou je na obr. 31 zobrazena třetí operace procesu lakování z Boustead modelu 6.0, která vykazuje největší spotřebu elektrické energie.



Obr. 31 Operace výroby elektrické energie pro operaci tryskání Boustead model 6.0

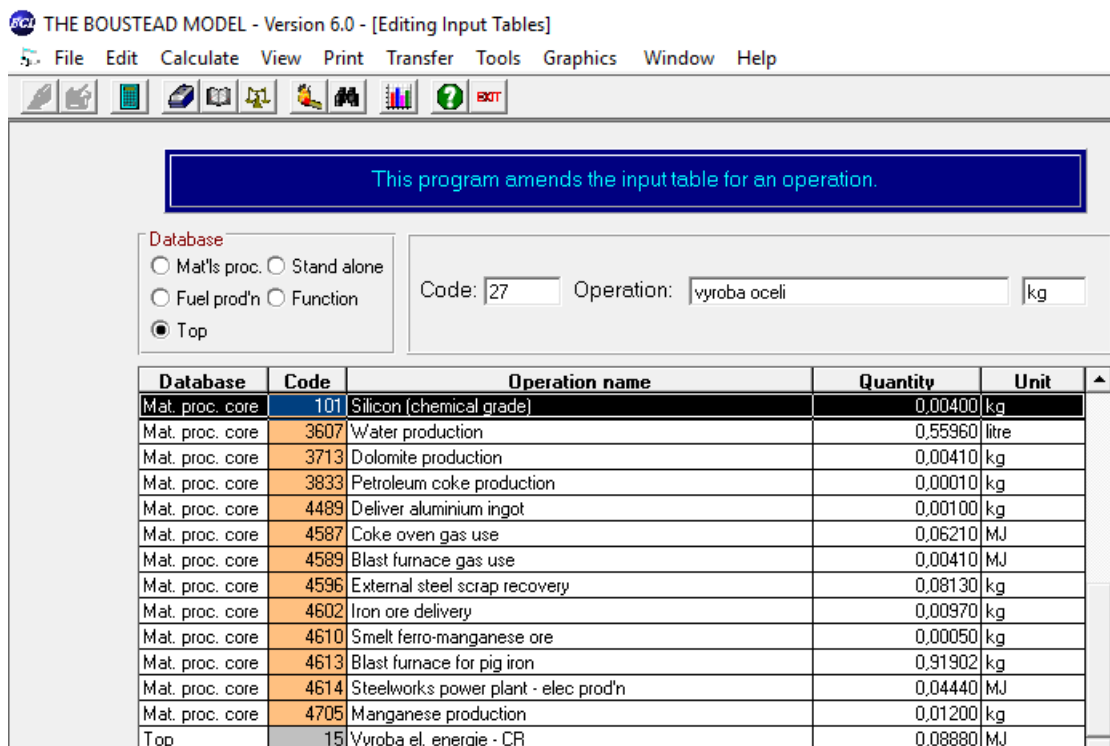
Dalším krokem byly v softwaru vytvořeny operace výroby materiálových vstupů. Pro vytvoření výrobních operací jednosložkových látek jako např. toluen či nafta, byly použité operace dostupné v databázi softwaru. V těchto případech byla provedena pouze úprava množství použité látky. V případě chemických sloučenin (např. Bonderite a PNH) obsahujících více složek bylo nezbytné nejprve vytvořit operace výroby zvlášť pro každou složku, jelikož při jejich výrobě docházelo ke spotřebě elektrické energie a bylo nezbytné zadat nově vytvořenou operaci výroby elektrické energie v ČR. Teprve po provedení těchto změn mohla být vytvořena operace výroby dané chemické sloučeniny a zadáno její spotřebované množství. Spotřebované množství vstupních údajů bylo vzato z tab. 3. Obr. 32 znázorňuje složení procesu výroby přípravku Bonderite použitého při operaci chemické odmaštění v procesu lakování.



Obr. 32 Proces výroby přípravku Bonderite v programu Boustead modul 6.0

V operaci mechanického tryskání dochází k použití ocelového abraziva, které v databázi softwaru taktéž není obsaženo. Jako základ pro vytvoření této operace byla použita operace výroby oceli v kyslíkových konvertorech a lití, která byla rozšířena o potřebné legující

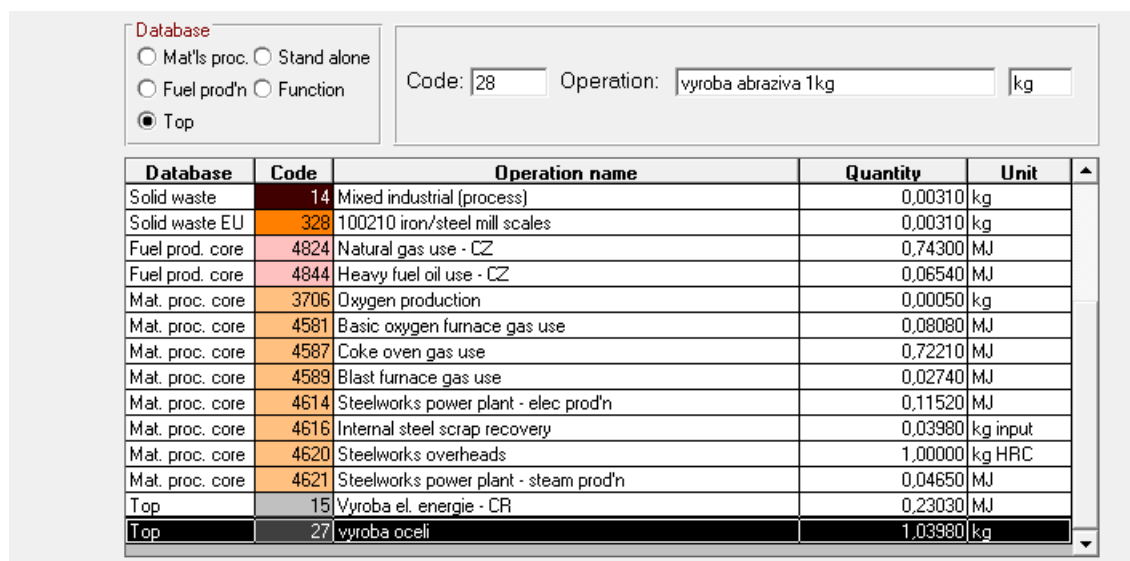
prvky dle tab. 3. V této operaci dochází rovněž ke spotřebě elektrické energie, která byla nahrazena vytvořenou operací výroby elektrické energie v ČR. Stejně tak došlo k záměně země i u použitého zemního plynu. Obr. 33 zobrazuje proces výroby oceli Ervin Amastell s obsahem legujících prvků dle specifikace v tab. 3



Obr. 33 Proces výroby oceli Ervin Amastell v programu Boustead model 6.0

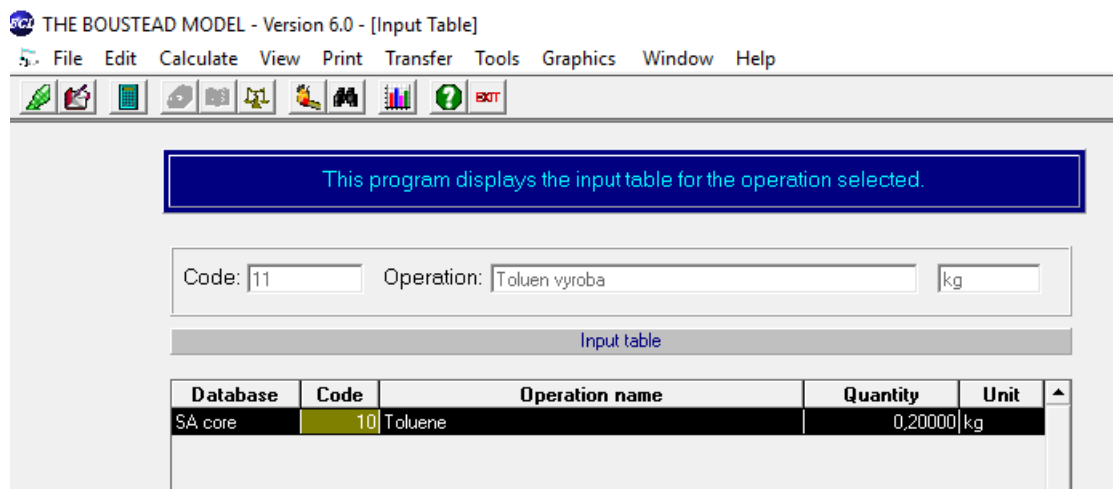
Operace výroby abraziva byla nahrazena operací výroby obecných výrobků z oceli dostupné v databázi softwaru. V této operaci byla operace výroby a lití oceli nahrazena vytvořenou operací výroby oceli doplněnou o legující prvky. Rovněž došlo k nahrazení operace spotřeby elektrické energie vytvořenou operací výroby elektrické energie v ČR.

Na obr. 34 je zobrazen proces výroby 1 kg abraziva v Boustead modulu 6.0. Po tomto kroku bylo do softwaru zadáno celkové spotřebované množství abraziva dle tab. 3.



Obr. 34 Proces výroby 1 kg ocelového abraziva v programu Boustead model 6.0

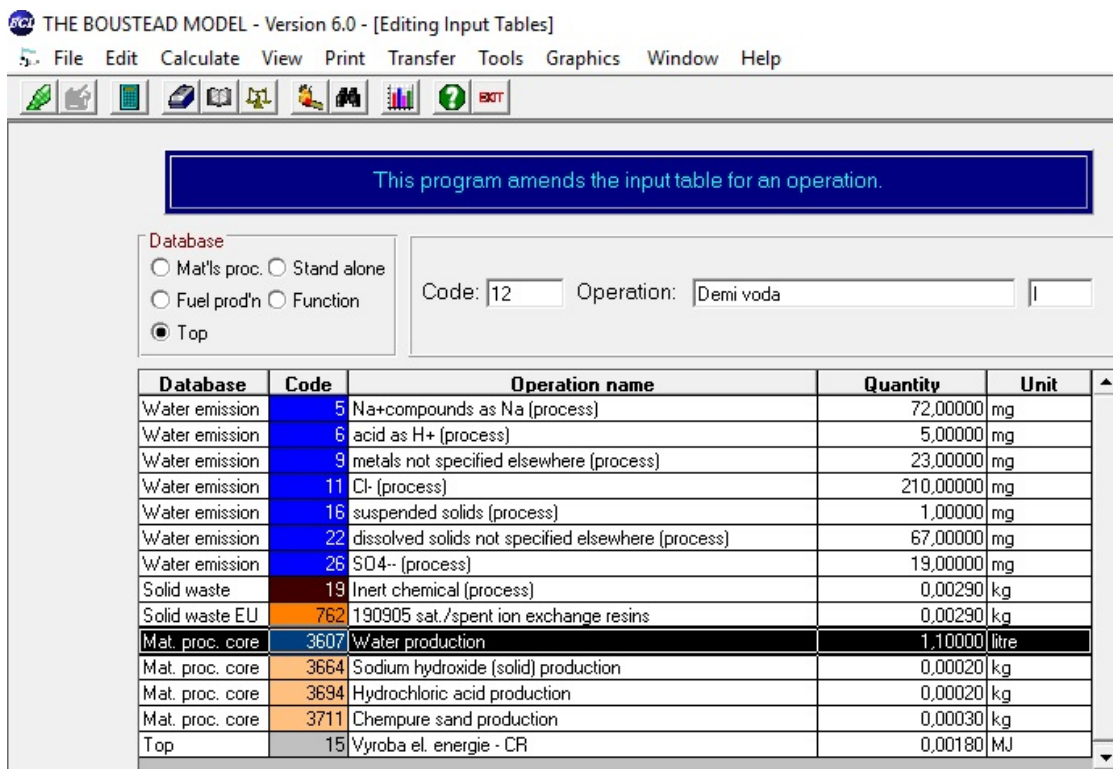
Další materiálový vstup, které bylo možné nalézt přímo v databázi softwaru je organické rozpouštědlo toluen. V Boustead modelu 6.0 byla tedy vytvořena operace výroby toluenu a v této operaci zadáno spotřebované množství toluenu během procesu práškového lakování dle tab. 3. Obr. 35 zobrazuje proces výroby toluenu, který je použit v procesu předúpravy svařence.



Obr. 35 Operace výroby toluenu v programu Boustead model 6.0

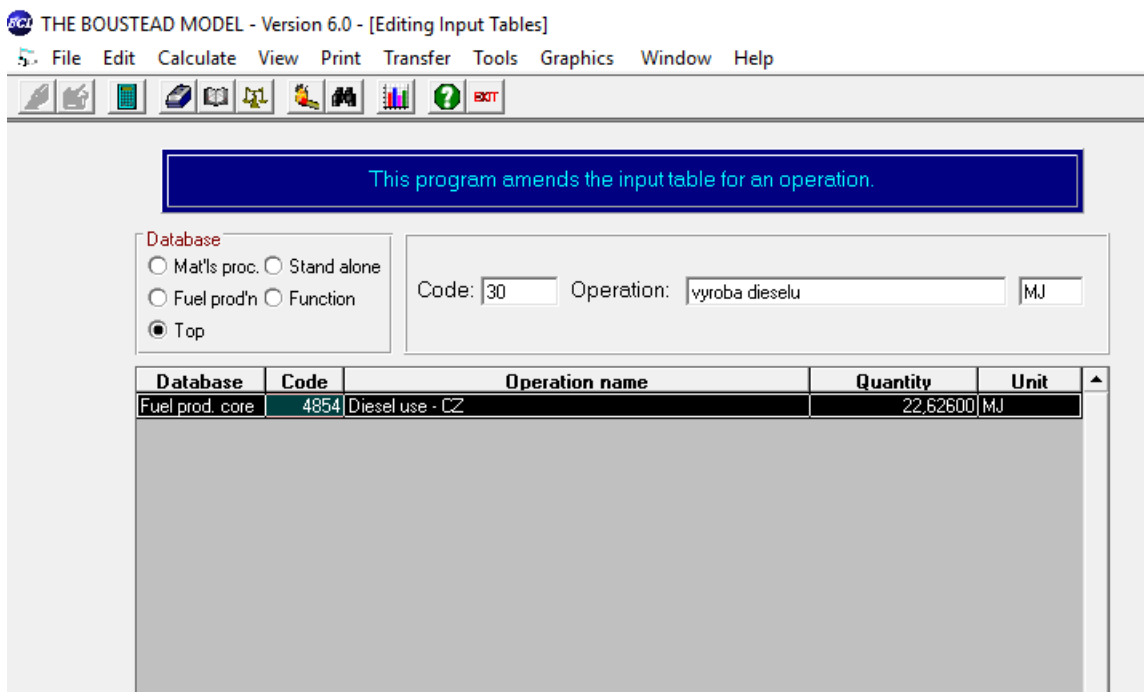
Dalším vstupem do procesu práškového lakování je tzv. technologická DEMI voda. Popis, množství a způsob měření je rovněž uveden v kapitole 7.2.2 Údaje o vstupech a také na ni odkazuje tab. 4 se spotřebovanou technologickou DEMI vodou. Během procesu výroby DEMI vody dochází ke vzniku mnoha vedlejších produktů i spotřebě elektrické energie.

V software byl tedy vytvořen proces výroby DEMI vody (obr. 36) a to na základě operace výroby demineralizované vody dostupné v databázi softwaru. V této operaci byla rovněž nahrazena operace spotřeby elektrické energie vytvořenou operací výroby elektrické energie v ČR.



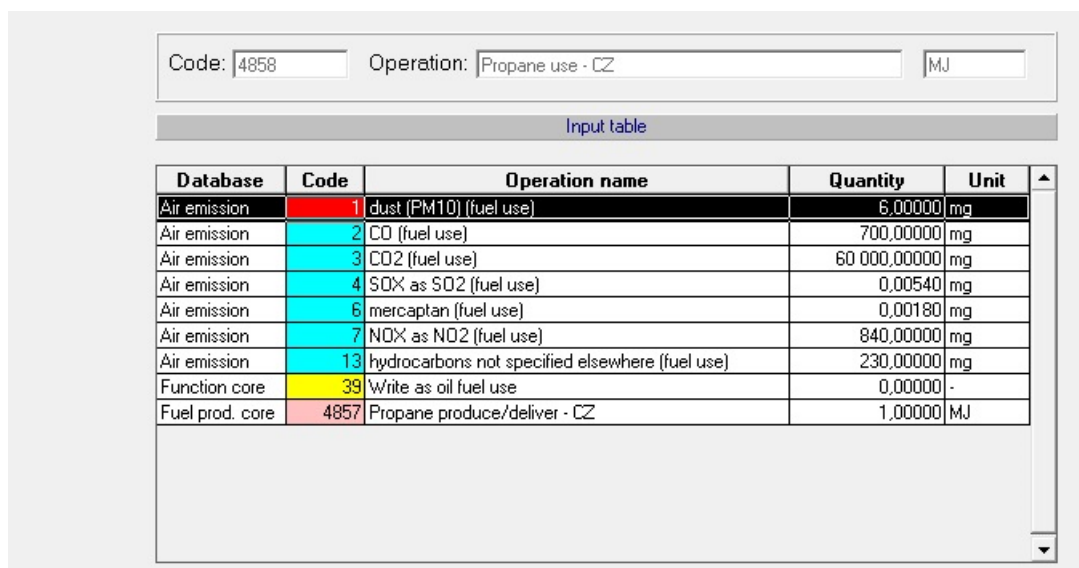
Obr. 36 Dílčí operace v procesu výroby DEMI vody v programu Boustead model 6.0

Mezi další materiálové vstupy v procesu práškového lakování, které ovšem plní funkci zdrojů energie, se řadí motorová nafta použitá v operaci chemického odmaštění a propan, viz tab. 3. V tomto případě se jedná o látky, které byly dostupné v databázi softwaru, takže proběhlo pouze vytvoření operace výroby motorové nafty se zadáním množství spotřebovaného během procesu chemického odmaštění. Obr. 37 zobrazuje proces výroby motorové nafty, která je využita jako palivo pro vysokotlaký čistič v operaci chemického odmaštění.



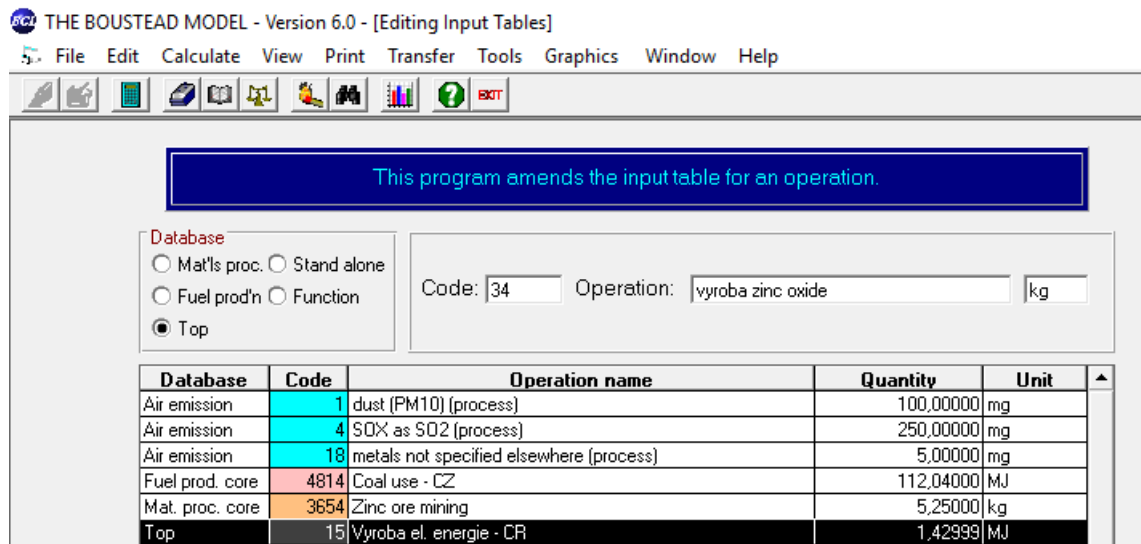
Obr. 37 Operace výroby motorové nafty Boustead modelu 6.0

Pro vytvoření operace výroby propanu byla tedy použita operace výroby propanu taktéž dostupná v databázi softwaru. V uvedené operaci byla operace spotřeby elektrické energie nahrazena vytvořenou operací výroby elektrické energie v ČR, viz obr. 38



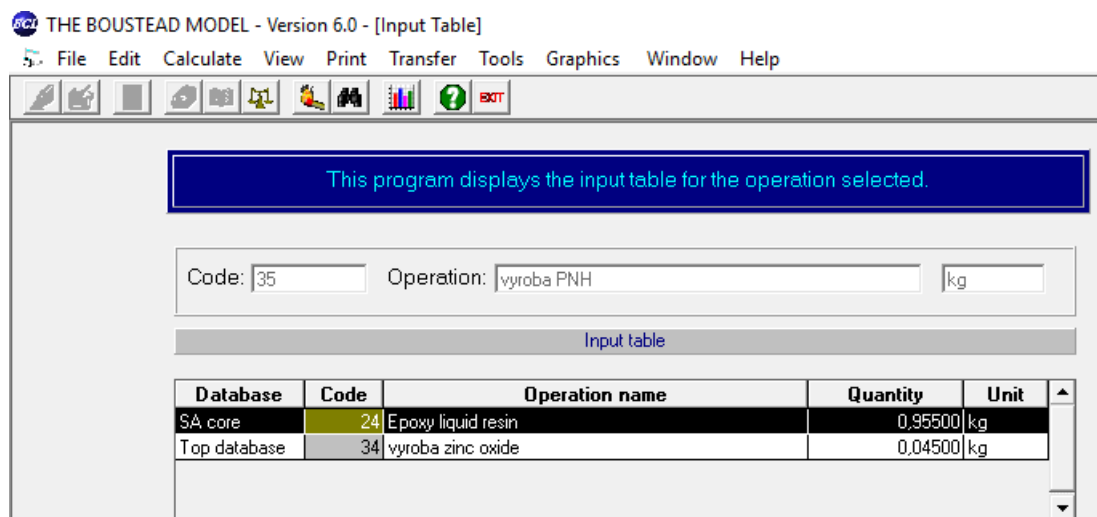
Obr. 38 Složení propanu v ČR v programu Boustead model 6.0

Operace výroby práškové nátěrové hmoty nebyla v databázi dostupná, proto byla vytvořena z operací výroby oxidu zinku a epoxidové pryskyřice. Složení a množství PNH je uvedené v tab. 3. V první fázi této operace byla vytvořena operace výroby oxidu zinečnatého (obr. 39). U operace výroby oxidu zinečnatého byla operace použití elektrické energie nahrazena vytvořenou operací výroby elektrické energie v ČR.



Obr. 39 Operace výroby oxidu zinečnatého v programu Boustead model 6.0

Následně za použití výše uvedené operace a operace výroby epoxidové pryskyřice dostupné v databázi byla vytvořena operace výroby PNH, kde jednotlivé složky byly zadány v odpovídajícím poměru dle tab. 3, viz obr. 40.



Obr. 40 Operace výroby PNH v programu Boustead model 6.0

V následující podkapitole 7.3 Hodnocení negativní dopadů byly na základě vytvořených operací provedeny výpočty zátěže životního prostředí, které jsou součástí prováděné LCA studie.



### 7.3 Hodnocení negativních dopadů

Třetí část studie LCA je věnována hodnocení negativních dopadů procesu práškového lakování na životní prostředí na základě výstupních údajů získaných v druhé části této studie.

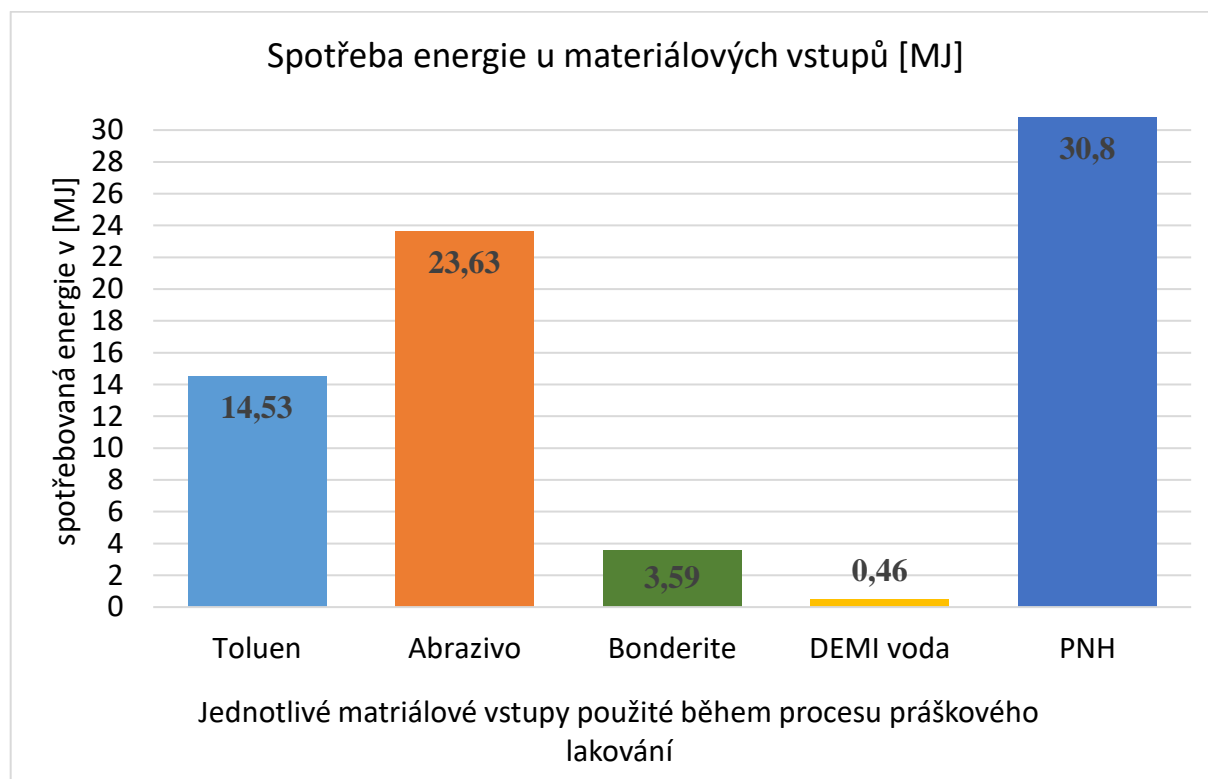
Po vytvoření jednotlivých výrobních operací a provedení výpočtu v Boustead modelu 6.0 byla získána data o zátěži životního prostředí procesem práškového lakování, a to v podobě emisí do vody a ovzduší, spotřeby primárních surovin, vody a energie. Jako ukazatele negativního dopadu na životní prostředí byly vybrány emise oxidu uhličitého a celková spotřeba energie. Pro snadnější orientaci ve výsledcích byly vytvořeny jednotlivé tabulky a grafy znázorňující celkovou spotřebu energie jednotlivými operacemi procesu lakování a operacemi výroby používaných látek a emise oxidu uhličitého.

V následující tab. 7 je uvedeno množství spotřebované energie a emisí oxidu uhličitého vznikajících během procesu lakování. Pro případné porovnání různých technologií lakování jsou zde také přidány hodnoty spotřebované energie a emisí oxidu uhličitého na stanovenou funkční jednotku 1 m<sup>2</sup>.

Tab. 7 Seznam spotřebované energie a emisí CO<sub>2</sub>

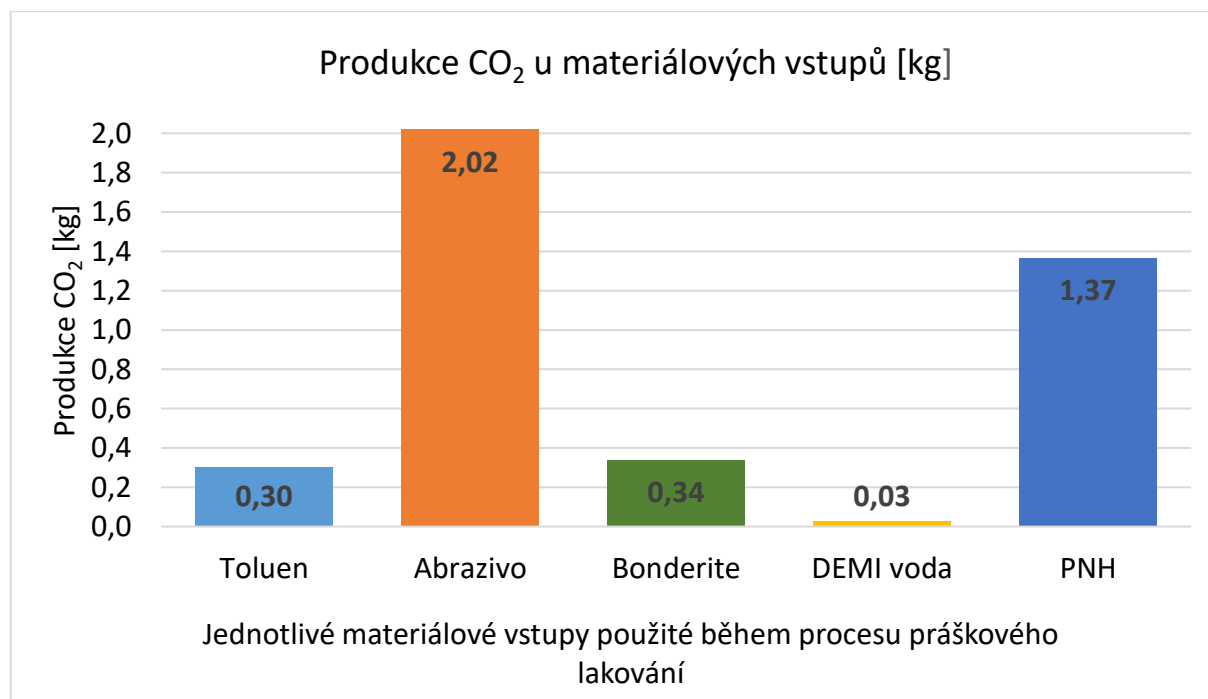
Vstupy	Proces číslo	Na jeden svařenec			Na plochu 1 m <sup>2</sup>	
		spotřeba energie [MJ]	CO <sub>2</sub> [mg]	CO <sub>2</sub> [kg]	spotřeba energie [MJ]	CO <sub>2</sub> [kg]
Toluen	2	14,53	302020	0,30	18,1625	0,38
Elektrická energie	2	3,19	201758	0,20	3,9875	0,25
Abrazivo	3	23,63	2018886	2,02	29,5375	2,52
Elektrická energie	3	42,59	2690109	2,69	53,2375	3,36
Elektrická energie	4	4,08	272011	0,27	5,1	0,34
Diesel	5	24,62	1793737	1,79	30,775	2,24
Bonderite	5	3,59	340 680	0,34	4,4875	0,43
DEMI voda	5	0,46	27152	0,03	0,575	0,03
Elektrická energie	5	12,90	814505	0,81	16,125	1,02
Propan	6	4,05	258401	0,26	5,0625	0,32
Elektrická energie	6	8,5	538022	0,54	10,625	0,67
Elektrická energie	7	3,83	235451	0,24	4,7875	0,29
PNH	8	30,8	1367137	1,37	38,5	1,71
Elektrická energie	8	11,71	793780	0,79	14,6375	0,99
Propan	9	12,16	775203	0,78	15,2	0,97
Elektrická energie	9	26,62	1681319	1,68	33,275	2,10
Elektrická energie	10	1,06	67253	0,07	18,1625	0,38
Celkem	-	228,312	14177424	14,178	302,238	180,15

Z výše uvedené tab. 7 byly vytvořeny jednotlivé grafy znázorňující, jak spotřebu energie během procesu, tak produkci oxidu uhličitého. Na obr. 41 je graficky zobrazena spotřebovaná energie potřebná na výrobu daných materiálových vstupů v procesu práškového lakování svařence.



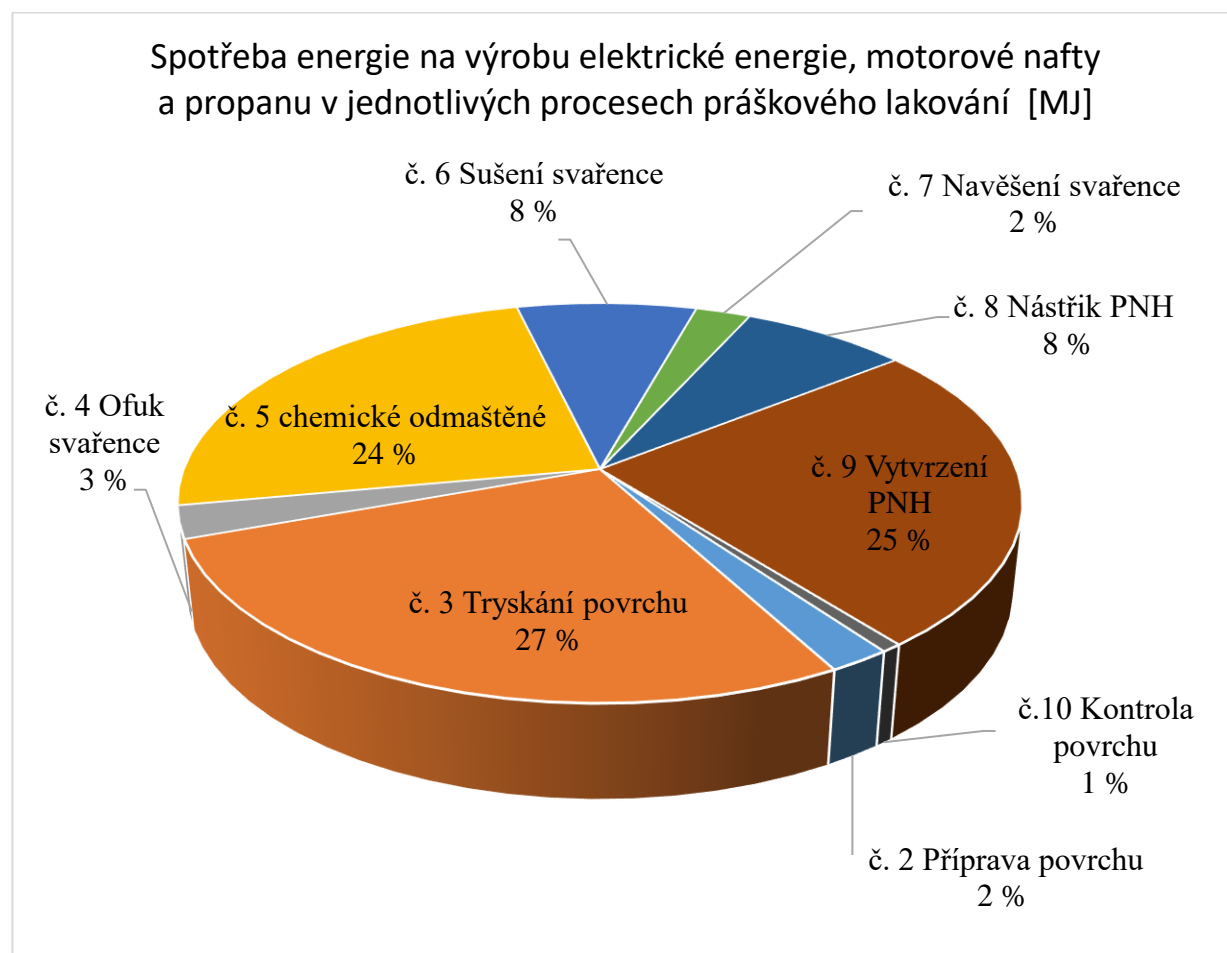
Obr. 41 Celková spotřeba energie u materiálových vstupů procesu práškového lakování

Produkce oxidu uhličitého u jednotlivých materiálových vstupů v procesu práškového lakování svařence je zobrazena na obr. 42.



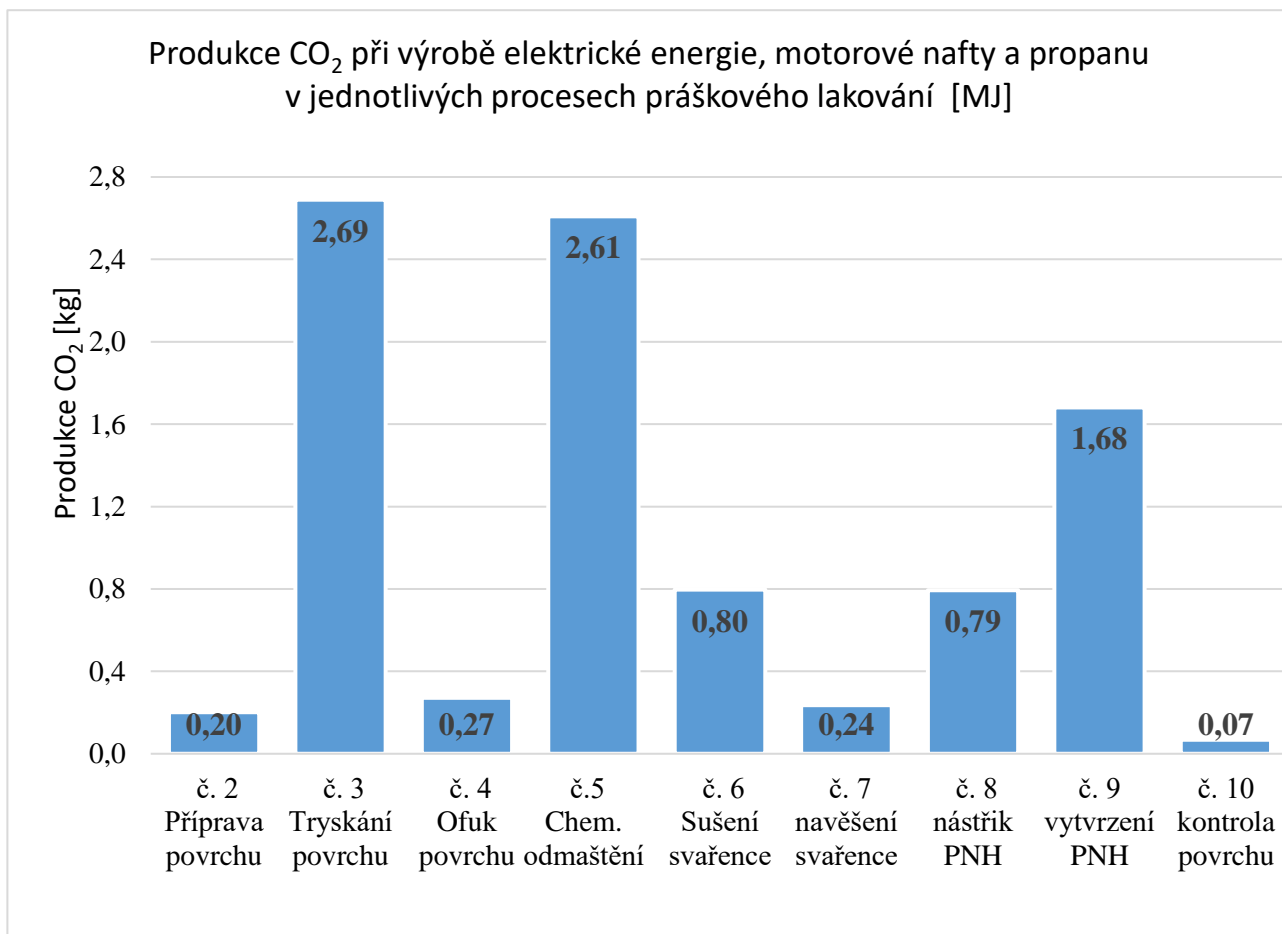
Obr. 42 Produkce oxidu uhličitého u materiálových vstupů procesu práškového lakování

Na obr. 43 jsou zobrazeny jednotlivé operace procesu práškového lakování, kterými posuzovaný svařenec projde, než je vyexpedován z práškové lakovny. Během tohoto procesu dochází v jednotlivých operacích ke spotřebě energetických vstupů, jako je elektrická energie, motorová nafta a propan. U některých operací dochází k využití více energetických vstupů současně, takže v následujícím výsečovém grafu jsou tyto jednotlivé vstupy sečteny. Výsledkem je celková spotřeba energie na výrobu daných energetických vstupů. Konkrétně se jedná o operace číslo pět, kde je současně použita elektrická energie a motorová nafta, operaci číslo šest, kde je využito propanu k sušení svařence a současně elektrické energie, a operace číslo devět, kde je opět současně využito propanu k vytvrzování práškové nátěrové hmoty a elektrické energie. Výsečový graf dále zobrazuje procentuální rozložení použitých energetických vstupů v jednotlivých operacích procesu práškového lakování jednoho kusu svařence.



Obr. 43 Celková spotřeba energie u energetických vstupů procesu práškového lakování

Na obr. 44 je zobrazena celková produkce oxidu uhličitého při výrobě energetických vstupů použitých v jednotlivých operacích procesu práškového lakování jednoho kusu svařence. Jedná se o energetické vstupy v podobě elektrické energie, motorové nafty a propanu. Stejně jako na obr. 43 dochází v operacích číslo pět, šest a devět k použití nejen elektrické energie, ale také propanu a motorové nafty. U těchto zmíněných procesů byly jednotlivé energetické vstupy v daných operacích sečteny a byla vyhodnocena celková produkce oxidu uhličitého v konkrétních operacích práškového lakování svařence.



Obr. 44 Produkce oxidu uhličitého během výroby energetických vstupů u práškového lakování

Ve čtvrté části této studie LCA je provedeno celkové zhodnocení technologie práškového lakování na životní prostředí. Doložené výsledky studie budou sloužit pouze k interním účelům organizace.

## 7.4 Interpretace výsledků

Ze zjištěných výsledků studie je patrná spotřeba celkové energie a produkce oxidu uhličitého do ovzduší v jednotlivých operacích procesu práškového lakování jedno kusu svařence.

Z hlediska spotřebované energie při výrobě jednotlivých materiálových vstupů je životní prostředí nejvíce zasaženo procesem výroby práškové nátěrové hmoty. Tato PNH je neoddelitelnou složkou procesu práškového lakování a při její výrobě dochází ke spotřebě 30,8 MJ.

Na druhém místě s hodnotou 23,7 MJ se nachází abrazivo použito v operaci mechanické tryskání povrchu svařence, kde abrazivo je taktéž hlavní složkou tohoto procesu. Ostatní materiálové vstupy spotřebovávají od 0,5 MJ do 14,5 MJ.

Z hlediska emisí oxidu uhličitého emitovaného do ovzduší při výrobě jednotlivých materiálových vstupů, je životní prostředí nejvíce zasaženo procesem výroby abraziva. Při výrobě tohoto ocelového abraziva Ervin Amastell použitého k mechanickému tryskání povrchu svařence dojde k produkci 4 kg CO<sub>2</sub>. Na druhém místě s hodnotou 1,4 kg se nachází prášková nátěrová hmota, která představuje hlavní složku práškového lakování. Další materiálové vstupy vykazují produkci od 0,03 do 0,34 kg CO<sub>2</sub>.

Celková spotřeba energie na výrobu materiálového vstupu PNH je sice rovna 30,8 MJ, ale v porovnání s produkcí oxidu uhličitého u tohoto vstupu PNH je hodnota daleko nižší než u použitého abraziva, kde je celková spotřeba energie nižší, ale zato produkce oxidu uhličitého je podstatně vyšší, než je tomu u PNH či ostatních materiálových vstupů. Důvodem může být složitost procesu výroby surové železa a z něj následně výroba oceli s legujícími prvky, ze které je následně možné vyrobít požadované abrazivo. Tento proces je zatížen zpracováním dalších surovin jako např. rudy, koksu, vápence aj., které mohou stát za produkcí oxidu uhličitého.

Porovnáním vyhodnocených údajů z hlediska spotřeby energie na výrobu energetických vstupů byl identifikován proces, který se podílí nejvíce na spotřebě energie. Jedná se o proces mechanické předúpravy povrchu tzv. tryskání. Při samotném procesu tryskání jednoho kusu svařence dochází ke spotřebě 42,6 MJ energie. Na druhém místě je pak samostatný proces vytvrzování nanesené PNH. Tato operace vyžaduje 38,8 MJ. Ostatní procesy se pohybují v hodnotách od 1 MJ do 37,5 MJ.

K produkci CO<sub>2</sub> dochází i při výrobě energetických vstupů, jejichž součástí je elektrická energie, motorová nafta a propan. Tyto vstupy jsou součástí všech operací procesu práškového lakování svařence. Nejvyšší hodnota vyprodukovaného CO<sub>2</sub> je rovna hodnotě 2,7 kg a patří procesu mechanického tryskání povrchu svařence. Ostatní procesy sice spotřebovávají méně elektrické energie, ale dochází v nich k použití ostatních zmíněných energetických vstupů. Na druhém místě se tak umístil proces chemického odmaštění povrchu s hodnotou 2,6 kg. Další významný zdroj emisí oxidu uhličitého je proces vytvrzování PNH s produkcí 1,77 Kg CO<sub>2</sub>. Ostatní procesy práškového lakování produkují od 0,07 kg do 0,8 kg CO<sub>2</sub>.

#### 7.4.1 Hodnocení kvality údajů metodou Weidema

Vzhledem k tomu, že vstupní data tvoří nezbytnou součást studie LCA a jejich důvěryhodnost a kvalita hraje důležitou roli ve výsledné kvalitě prováděné studie, bylo vypracováno hodnocení kvality vstupních údajů dle metody Weidema. Následující podkapitola 7.4.1 Hodnocení kvality údajů metodou Weidema proto bude věnována problematice zhodnocení vstupních údajů.

Kvalita použitých vstupních údajů byla posouzena a vyhodnocena za pomoci metody Weidema (tab. 8). Tato metoda hodnotí vstupní údaje dle šesti parametrů a v závislosti na jejich charakteru jim přiřazuje hodnotu 1 až 5, kde číslo jedna značí údaje s nejvyšší kvalitou údajů. [44]

Hodnocení kvality údajů byly podrobeny všechny používané látky a energie. U údajů dostupných v databázi Boustead modelu 6.0 se předpokládá, že jsou nezávislé a založené na posouzení dostatečného množství vzorků za adekvátní období.

Tab. 8 Hodnocení kvality vstupních údajů dle metody Weidema [44]

Skóre	1	2	3	4	5
<b>Metody sběru</b>	Údaje z přímého měření	Údaje vypočtené a založené na měření	Údaje vypočtené a z části založené na předpokladech	Kvalifikovaný – expertní odhad	Nekvalifikovaný odhad
<b>Nezávislost údajů na dodavateli</b>	Verifikované údaje z veřejných nebo nezávislých zdrojů	Verifikované údaje z provozů zainteresovaných na studii	Nezávislé zdroje, ale založené na neověřených údajích z průmyslu	Neověřené informace z průmyslu	Neověřené informace z podniků zainteresovaných na studii
<b>Reprezentativnost</b>	Reprezentativní údaje na základě dostatečných vzorků v průběhu adekvátního časového období s vyrovnanou fluktuací	Verifikované údaje z menšího počtu míst ale za adekvátní období	Reprezentativní údaje z menšího počtu míst, ale za kratší období	Údaje z adekvátního počtu míst, ale za kratší období	Reprezentativnost neznámá nebo nekompletní děje z malého počtu míst a/nebo za kratší časové období
<b>Stáří údajů</b>	Méně než 3 roky	Méně než 5 let	Méně než 10 let	Méně než 20 let	Větší než 20 let
<b>Geografická korelace</b>	Údaje z území, které je předmětem studie	Průměrné údaje ze širšího území, než je předmětem studie	Údaje z oblastí s podobnými výrobními podmínkami	Údaje z oblastí s málo podobnými podmínkami	Údaje z neznámých oblastí, nebo z oblastí s velmi odlišnými výrobními
<b>Technologická korelace</b>	Údaje z podniků, procesů a o materiálech, které jsou předmětem studie	Údaje o mat. a procesech, které jsou předmětem studie, ale z různých podniků	Příbuzné údaje, které jsou předmětem studie, ale z různých technologií	Příbuzné údaje, ale ze stejné technologie	Příbuzné údaje, ale z různých technologií

Na základě výše uvedené tabulky bylo provedeno hodnocení kvality vstupních dat používaných pro hodnocení zátěže životního prostředí procesem práškového lakování. Výsledky jsou uvedené v tab. 9.

Tab. 9 Kvalita vstupních údajů procesu práškového lakování metodou Weidema

druh látky/ energie	Proces	Metoda sběru dat	Nezávislost údajů na dodavateli	Reprez entativ nost	Stáří údajů	Geologic ká korelace	Technol ogická korelace
Toluen	Výroba	2	3	1	3	2	2
	Použité množství	2	2	3	1	1	1
Ocelové abrazivo	Výroba	3	1	1	4	2	2
	Složení	2	1	1	1	1	1
	Použité množství	2	2	3	1	1	1
DEMI – voda	Výroba	2	2	1	4	3	3
	Použité množství	2	2	3	1	1	1
BONDER ITE M-FE 3803	Výroba	2	3	1	3	2	2
	Složení	3	2	3	1	2	3
	Použité množství	2	1	1	4	1	3
Motorová nafta	Výroba	2	3	1	4	3	3
	Použité množství	2	2	3	1	1	1
Propan	Výroba	2	3	1	4	2	2
	Použité množství	2	1	1	1	1	1
PNH	Výroba	2	3	1	4	2	2
	Složení	2	2	3	1	1	1
	Použité množství	2	2	3	1	1	1
Elektrická energie	Výroba	2	1	1	1	2	2
	Složení	2	2	3	1	1	1
	Použité množství	2	2	3	1	1	1

Z tab. 9 je patrné, že rozdíly v kvalitě vstupních údajů jednotlivých látek, spotřebované elektrické energie či propanu jsou minimální. Drtivá většina uvedených vstupních údajů je ve všech ukazatelích, které byli posuzovány hodnocena známkami 1 a 2. Ve výjimečných případech známkou 3 nebo 4.



## 8 ZÁVĚR

Tato diplomová práce měla za cíl vyhodnotit negativní dopad na životní prostředí technologie práškového lakování. V první části práce byly popsány existující technologie povrchových úprav kovů. Následně teoretická část práce byla zaměřena na analýzu technologie práškového lakování, včetně podrobného popisu jednotlivých operací a druhů práškových nátěrových hmot. V praktické části byly rovněž popsány metodiky hodnocení zátěže životního prostředí. Pro posouzení dopadu na životní prostředí technologie práškového lakování byla zvolena metoda hodnocení životního cyklu (LCA), která byla v práci podrobně popsána.

V praktické části práce byla zvolena metoda aplikována na proces práškového lakování svařence. V úvodní části byla provedena analýza technologického postupu práškového lakování. Dále byl podrobně popsán průběh jednotlivých operací. Další krok se týkal analýzy materiálových a energetických vstupů. Ta byla nezbytná pro realizaci těchto operací a bylo změřeno patřičné množství potřebné pro nalakování jednoho kusu svařence. Kromě samotného procesu lakování, se v této práci současně počítalo s výrobou použitých materiálových a energetických vstupů. Na základě zjištěných údajů a za použití softwaru Boustead model 6.0 bylo provedeno jak modelování procesů výroby jednotlivých materiálových a energetických vstupů, tak hodnocení jejího dopadů na životní prostředí. Výsledky hodnocení jsou uvedeny v podobě celkové spotřeby energie a emisí oxidu uhličitého.

Posledním krokem praktické části bylo hodnocení získaných výsledků studie posuzování životního cyklu. Byly vypracovány grafy zobrazující celkovou spotřebu a produkci oxidu uhličitého u jednotlivých materiálových a energetických vstupů použitých během procesu práškového lakování. Nejvyšší produkci emisí v podobě oxidu uhličitého jak u materiálového, tak energetického vstupu představuje operace tryskání povrchu svařence. Celková spotřebovaná energie je nejvyšší u materiálového vstupu PNH. U energetického vstupu bylo vyhodnoceno, že nejvíce energie spotřebovává proces tryskání povrchu svařence.

Operaci tryskání povrchu svařence by bylo vhodné podrobit dalšímu zkoumání, nad rámec prováděné studie. Zjistit příčiny vedoucí k velké spotřebě abraziva během operace tryskání, které má dle provedené studie LCA za následek velkou spotřebu celkové energie a produkci oxidu uhličitého. Nadměrná spotřeba abraziva a tím i energetických vstupů, může být způsobeno například přebytkem výkonem metacích jednotek a špatnou volbou tvrdosti abraziva, které se deformuje a znehodnocuje. Případně špatně nastavena rychlost posuvu dopravníku, eventuálně použití nevhodného typu tryskacího zařízení pro tento druh dílce.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Boustead model: Stručný průvodce. *Www.axigon.cz* [online]. 2015 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: [www.axigon.cz/userfiles/dokumenty/000/000/0000001716.doc](http://www.axigon.cz/userfiles/dokumenty/000/000/0000001716.doc).
- [2] CENIA: *Hodnocení životního prostředí* [online]. 2012 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/node/495>.
- [3] ČSN EN ISO 14040. Management životního prostředí – Hodnocení životního cyklu – Principy a rámec. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [4] DeFelsko: *Pull-off Adhesion Testers* [online]. 2017 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.defelsko.com/positest-at>.
- [5] EKovia europe s.r.o. [online]. 2016 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.ekovia.cz/ekologicka-legislativa>.
- [6] EKovia europe s.r.o.: *Ekologická legislativa* [online]. 2016 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.ekovia.cz/ekologicka-legislativa>.
- [7] ENŽL, R., HOUDKOVÁ, Š., SUDOVÁ, J., BLÁHOVÁ, O. Náhrada tvrdého chromování žárovými nástřiky. *Metal 2002*[online]. 2002, č. 29, s. 4 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: [http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal\\_02/papers/29.pdf](http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_02/papers/29.pdf).
- [8] GALATEK: *Předúprava povrchu* [online]. 2016 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.galatek.cz/fotogalerie/vytahy-ostrava-sro#lightbox>.
- [9] GUZONOVÁ, Anna. *Předúprava povrchu* [online]. In. s. 169 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/mater-vstrojar-vyrobe.pdf>.
- [10] HAFNER, Josef. *Technologie nanášení nátěrových hmot* [online]. Brno, 2015 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/vccg3h/zaverecna\\_prace.pdf](https://theses.cz/id/vccg3h/zaverecna_prace.pdf). Bakalářská. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. et Ing. Petr Dostál, Ph.D.
- [11] *Hodnocení vlastností nátěrových hmot: Fyzikálně – mechanické vlastnosti nátěrů*[online]. 2001-2002, 54 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: [https://www.upce.cz/sites/default/binary\\_www\\_old/fcht/uchtml/12-onhop/studijni-materialy/hodnoc-mech-vlast.pdf](https://www.upce.cz/sites/default/binary_www_old/fcht/uchtml/12-onhop/studijni-materialy/hodnoc-mech-vlast.pdf).
- [12] HOUDKOVÁ ŠIMŮNKOVÁ, Šárka, ENŽL, Radek, BLÁHOVÁ, Olga. Žárové nástřiky: Moderní technologie povrchových úprav [online]. 2000 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/index.html>.
- [13] *Http://adm-global.org: Sustainable Production Support Tools* [online]. 2017 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: [http://adm-global.org/productionsupporttools/Database\\_Boustead.html](http://adm-global.org/productionsupporttools/Database_Boustead.html).
- [14] IPPC [online]. 2014 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.ippc.int/en/logos/>
- [15] KOČÍ, V.: Posuzování životního cyklu: Life Cycle Assessment – LCA. Vyd. 1 - Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009.
- [16] KOČÍ, Vladimír. *Metoda posuzování životního cyklu a chemický průmysl* [online]. In. s. 5 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: [http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_10\\_921-925.pdf](http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010_10_921-925.pdf).
- [17] KORAMEX a.s.: *Povrchové úpravy* [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.koramex.cz/povrchove-upravy>.

- [18] *Kovocite: Práškové lakování (komaxit)* [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.kovocite.cz/praskove-lakovani-komaxit>.
- [19] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. ISBN 80-7082-668-1.
- [20] Kupchella, Ch., Hyland, M.: *Environmental Science*, Simon&Schuster, New York 1993
- [21] *LLORET: Park Hause* [online]. 2010 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.lloret.co.uk/control-systems/park-house>.
- [22] *Mercilab: Vzorňík RAL* [online]. 2016 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.mercilab.cz/produkt/laboratorni-stoly-cs>.
- [23] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2018 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: [http://www.env.cz/cz/navigace\\_temata](http://www.env.cz/cz/navigace_temata).
- [24] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3.vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 2006. 156 s. ISBN 80-247-1217-7.
- [25] Neužil, M.: *Vliv energetiky na životní prostředí, příspěvek ve sborníku 3. Mezinárodní konference EIA (Posuzování vlivů na životní prostředí)*, MŽP, Praha 1996.
- [26] NEUŽIL, Martin. *Legislativa a životní prostředí* [online]., 10 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/AA54B8AF1F813BD7C1256FC00040D54E/\\$file/e-0401.htm](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/AA54B8AF1F813BD7C1256FC00040D54E/$file/e-0401.htm).
- [27] OBR, Ladislav. *MM: Funkční chromování* [online]. 2008, 3 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/funkcni-chromovani.html>.
- [28] OSBECK, Sofie, Charlotte BERGEC a Anders KLÄSSBO a kol. *Energy efficiency opportunities within the powder coating industry. World renewable energy congress 2011 - Sweden*. [online]. 2011 [cit. 2017-07-20]. Dostupné z: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:417226/FULLTEXT01.pdf>.
- [29] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava, 1994. 76 s. ISBN 80-7078-235-8.
- [30] *Posuzování vlivů na životní prostředí (EIA). Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/posuzovani\\_vlivu\\_zameru\\_zivotni\\_prostredi\\_eia](https://www.mzp.cz/cz/posuzovani_vlivu_zameru_zivotni_prostredi_eia).
- [31] *Posuzování vlivů na životní prostředí (SEA). Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/posuzovani\\_vlivu\\_koncepci\\_sea](https://www.mzp.cz/cz/posuzovani_vlivu_koncepci_sea).
- [32] *Průběžné bubnové tryskáčské zařízení. Wheelabrator* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://www.wheelabratorgroup.com/cs-cz/equipment/wheelblast/continuous-blast-machines/ct-continuous-tumbblast-machine>.
- [33] *Recyklace práškových nátěrových hmot a likvidace odpadů* [online]. 2015(12) [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/recyklace-praskovych-naterovych-hmot-a-likvidace-odpadu.html>.
- [34] *Recyklace práškových nátěrových hmot a likvidace odpadů* [online]. 2015(12) [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/recyklace-praskovych-naterovych-hmot-a-likvidace-odpadu.html>.
- [35] REMTOVÁ, Květa. *Posuzování životního cyklu – Metoda LCA*. 1. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2003. ISBN 80-7212-232-0.

- [36] SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*. 1.vyd. Praha: Ediční středisko ČVUT Praha, 1992.176 s. ISBN 80-01-00799-5.
- [37] Strategické posuzování vlivů na životní prostředí. In: *Ministerstvo životního prostředí*[online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/50F08392ADB9DC2EC1256FC0004125BD/\\$file/e-01-6.htm](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/50F08392ADB9DC2EC1256FC0004125BD/$file/e-01-6.htm).
- [38] STRATIL, Jaroslav. *MM: Recyklace práškových nátěrových hmot a likvidace odpadů*[online]. 2015, 4 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/recyklace-praskovych-naterovych-hmot-a-likvidace-odpadu.html>.
- [39] *Superterry: 2017* [online]. 2016 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.superterry.com/what-is-dye-testing/>.
- [40] *Surfin technology: práškové barvy* [online]. 2017 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.surfin.cz/cz/produkty>.
- [41] SVOBODA, Tomáš. *Optimalizace procesu práškového lakování s výsledkem snížení pracnosti konečné úpravy komponent plynem izolovaných rozvoden – GIS*. Brno, 2016. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Jan Strejček.
- [42] TAN, Zhongchao. *Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basis Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*. Singapore: Springer, 2014. ISBN 978-981-278-211-1. (EN)
- [43] *TechPark: Tvrdé chromování* [online]. 2015 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62014/tvrde-chromovani-inovace-chromovaciho-procesu.html>.
- [44] TICHÁ, Marie a Bohumil ČERNÍK. *Porovnání environmentálních dopadů nápojových obalů v ČR metodou LCA* [online]. 1. 2009 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [http://lca-cz.cz/projekt-lca/download/SPII2f11697\\_zaverecna\\_zprava.pdf](http://lca-cz.cz/projekt-lca/download/SPII2f11697_zaverecna_zprava.pdf).
- [45] *Toušenská s.r.o.: Tryskací materiály* [online]. 2016 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.tryskaci-zarizeni.cz/tryskaci-materialy>.
- [46] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. 2005. 136 s. ISBN 80-214-3062-1.
- [47] ULRICH, Darryl L. *User's guide to powder coating*. 3rd ed. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c1993. ISBN 08-726-3444-2.
- [48] *UNIMETRA spol. s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.unimetra.cz/cz/katalog/tloustkomery-drsnomery-tvrdomery/tloustkomery-povrchovych-uprav-vrstev/108-minitest-7400-tloustkomer-povrchovych-uprav.html#!prettyPhoto>.
- [49] Výroba elektřiny a tepla. *Informační systém statistiky a reportingu: Cenia* [online]. 2016 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://issar.cenia.cz/prehled-klicovych-indikatoru-podle-hlavnich-temat/prumysl-a-energetika/vyroba-elektřiny-a-tepla>.
- [50] *Watech a.s.: Nabíjecí systémy* [online]. 2017 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-praskovy-prumysl/praskova-technologie/davkovani-prasku-injektory.html>.

- [51] *WAttech a.s.: Nabíjecí systémy* [online]. 2017 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty>.
- [52] *WAttech a.s.: oběh práškové barvy při aplikaci* [online]. 2017 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: *WAttech a.s.: Nabíjecí systémy* [online]. 2017 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-praskovy-prumysl/praskova-technologie/davkovani-prasku-injektory.html>.
- [53] ZAHÁLKA, František a Radek ENŽL. *MM: Progresivní řešení náhrady tvrdého chromování* [online]. 2005, 2 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/progresivni-reseni-nahrady-tvrdeho-chromovani.html>.
- [54] ZAJÍČEK, Tomáš. *Zavedení a aplikace EMS dle norem řady ČSN EN ISO 14001:2005*. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Josef Hrdina.
- [55] *Zkoušení povrchových úprav a ochran* [online]. 2011 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zkouseni-povrchovych-uprav-a-ochran.html>.



# 10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 10.1 Seznam zkratk a symbolů

<i>Zkratka</i>	<i>Význam</i>
VOC	Těkavá organická látka (volatile organic compound)
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
ČNR	Česká národní rada
IPPC	Integrovaná precence a omezování znečištění (Integrated Pollution Prevention and Control)
TWG	Technická pracovní skupina (Technical Working Group)
BREF	Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách
BAT	Nejlepší dostupné techniky (Best Available Techniques)
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
EMAS	Systém ekologického řízení a auditu
PVD	Fyzikální depozice z plynné fáze (Physical Vapour Deposition)
CVD	Chemické depozice z plynné fáze (Chemical Vapour Deposition)
RAL	Celosvětově uznávaný standard pro stupnici barevných odstínů
DEMI	Demineralizovaná voda
PNH	Práškové nátěrové hmoty
$\mu m$	Micrometr
$^{\circ}C$	Stupeň Celsia
UV	Ultrafialové záření
kV	Kilovolt
$S_a [-]$	Čistota očištěného povrchu
DEMI voda	Demineralizovaná voda (představuje vodu zbavenou všech iontově rozpustných látek a křemíku)
$\mu S / cm$	Konduktivita vody v jednotkách microsiemens na centimetr
%	Symbol označující procenta
MJ	Megajoule
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
LCA	Posuzování životního cyklu produktu (Life Cycle Assessment)
ERA	Metoda hodnocení environmentálních rizik
EIA	Posuzování vlivů záměrů na životní prostředí
SEA	Posuzování vlivů koncepcí na životní prostředí



## 10.2 Seznam tabulek

Tab. 1 Proces lakování svařence s materiálovými a energetickými vstupy.....	57
Tab. 2 Přehled spotřebované elektrické energie v jednotlivých procesech lakování ...	60
Tab. 3 Přehled vstupů v jednotlivých operacích procesu lakování.....	61
Tab. 4 Přehled využití technologické vody v jednotlivých procesech lakování.....	62
Tab. 5 Výroba elektrické energie dle typu paliva v České republice pro rok 2016 [49]..	64
Tab. 6 Složení paliv pro výrobu elektrické energie po seskupení pro Boustead model..	66
Tab. 7 Seznam spotřebované energie a emisí CO <sub>2</sub> .....	72
Tab. 8 Hodnocení kvality vstupních údajů dle metody Weidema [44] .....	77
Tab. 9 Kvalita vstupních údajů procesu práškového lakování metodou Weidema .....	78

## 10.3 Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka využití práškového lakování na opláštění budovy v Mayfair v Londýně [21].....	15
Obr. 2 Ukázka ručního nanášení práškové nátěrové hmoty [18].....	15
Obr. 3 Čisté versus znečištěné prostředí [5] .....	17
Obr. 4 Jakostní znaky ochranné účinnosti povlaků [12].....	24
Obr. 5 Vzorník barev RAL [22].....	25
Obr. 6 Ukázka suchých přírodních pigmentů [39] .....	29
Obr. 7 ukázka nanášení nátěrové hmoty stříkáním [17] .....	29
Obr. 8 ukázka PNH [40] .....	31
Obr. 9 Nanášení PNH v průjezdové práškovací kabině.....	33
Obr. 10 Princip nabíjení PNH metodou CORONA [50] .....	34
Obr. 11 Princip nabíjení PNH metodou TRIBO [50] .....	35
Obr. 12 Cyklus nanášení PNH v práškovací kabině [52] .....	36
Obr. 13 Zpracování odpadních PNH [33].....	36
Obr. 14 Odstranění mechanických nečistot z odpadních PNH [34].....	37
Obr. 15 Výstup z konvenční pece, dílce po vytvrzení PNH .....	37
Obr. 16 Ruční tryskací komora bez zpětného sběru abraziva.....	40
Obr. 17 Polotovár před otryskáním a po ručním otryskání.....	40
Obr. 18 Ukázka tryskacího stroje [32].....	41
Obr. 19 Ukázka ručního alkalického odmašťování v neprůchozí kabině [1] .....	43
Obr. 20 Vlevo zkušební vzorek opatřen ochranným nátěrem, vpravo vzorem po tepelně-vlhkostní zkoušce s výrazným zpuchýřováním [55] .....	45
Obr. 21 Digitální tloušťkoměr [48].....	46
Obr. 22 Odtrhoměr [4] .....	46
Obr. 23 Zjednodušený model životního cyklu produktu a následného hodnocení environmentálních dopadů, především množství do prostředí emitovaných látek na výsledku indikátorů kategorií dopadů [38] .....	50
Obr. 24 Svařenec před operací mechanického tryskání.....	54
Obr. 25 Svařenec po operaci mechanického tryskání.....	55
Obr. 26 Špatné vytvrzení práškové nátěrové hmoty .....	56
Obr. 27 Diagram s technologickým postupem lakování svařence se zdroji a výstupy	59
Obr. 28 Struktura Boustead modelu 6.0 [13].....	63

Obr. 29 Procentuální zastoupení jednotlivých druhů paliv používaných k výrobě elektřiny v ČR [49] .....	65
Obr. 30 Seznam paliv v ČR pro výrobu elektrické energie v Boustead model 6.0 .....	66
Obr. 31 Operace výroby elektrické energie pro operaci tryskání Boustead model 6.0 .....	67
Obr. 32 Proces výroby přípravku Bonderite v programu Boustead modul 6.0 .....	67
Obr. 33 Proces výroby oceli Ernin Amastell v programu Boustead model 6.0 .....	68
Obr. 34 Proces výroby 1 kg ocelového abraziva v programu Boustead model 6.0 ....	68
Obr. 35 Operace výroby toluenu v programu Boustead model 6.0 .....	69
Obr. 36 Dílčí operace v procesu výroby DEMI vody v programu Boustead model .....	69
Obr. 37 Operace výroby motorové nafty Boustead modelu 6.0 .....	70
Obr. 38 Složení propanu v ČR v programu Boustead model 6.0 .....	70
Obr. 39 Operace výroby oxidu zinečnatého v programu Boustead model 6.0 .....	71
Obr. 40 Operace výroby PNH v programu Boustead model 6.0 .....	71
Obr. 41 Celková spotřeba energie u materiálových vstupů procesu lakování .....	73
Obr. 42 Produkce oxidu uhličitýho u materiálových vstupů procesu lakování .....	73
Obr. 43 Celková spotřeba energie u energetických vstupů procesu lakování .....	74
Obr. 44 Produkce oxidu uhličitýho během výroby energetických vstupů u lakování .	75



## 11 SEZNAM PŘÍLOH

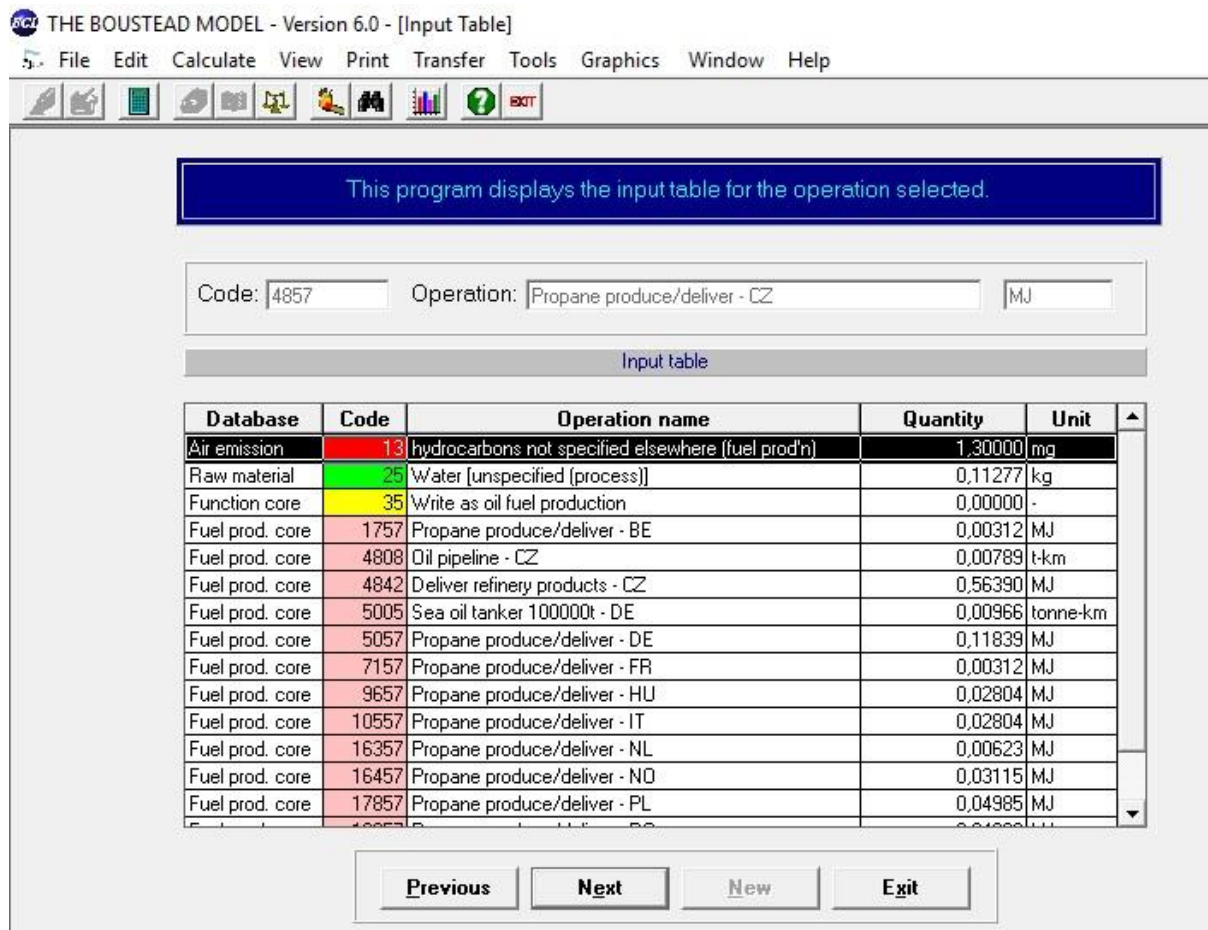
Příloha č.1 Operace v softwaru Boustead model 6.0



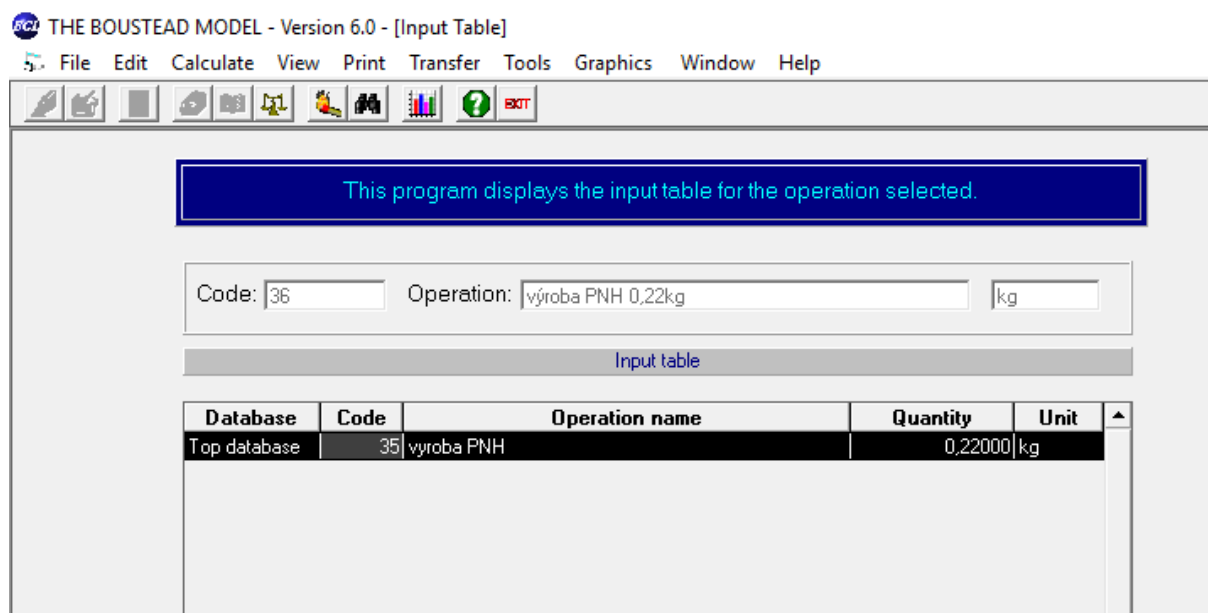
# PŘÍLOHY

## Příloha č.1 Operace v softwaru Boustead model 6.0

Obr. 1



Obr.2



Obr. 3

THE BOUSTEAD MODEL - Version 6.0 - [Editing Input Tables]

File Edit Calculate View Print Transfer Tools Graphics Window Help

This program amends the input table for an operation.

Database

☐ Mat'l's proc. ☐ Stand alone  
☐ Fuel prod'n ☐ Function  
☒ Top

Code: 29 Operation: vyroba 20kg abraziva kg

Database	Code	Operation name	Quantity	Unit
Top	28	vyroba abraziva 1kg	20,00000	kg

Add (+) Change (-) Delete Save Exit

Obr. 4

THE BOUSTEAD MODEL - Version 6.0 - [Editing Input Tables]

File Edit Calculate View Print Transfer Tools Graphics Window Help

This program amends the input table for an operation.

Database

☐ Mat'l's proc. ☐ Stand alone  
☐ Fuel prod'n ☐ Function  
☒ Top

Code: 25 Operation: spotřeba DEMI vody - odmaštění l

Database	Code	Operation name	Quantity	Unit
Top	12	Demi voda	20,00000	l

Add (+) Change (-) Delete Save Exit

Obr. 5

THE BOUSTEAD MODEL - Version 6.0 - [Editing Input Tables]

File Edit Calculate View Print Transfer Tools Graphics Window Help

This program amends the input table for an operation.

Database

☐ Mat'ls proc. ☐ Stand alone  
☐ Fuel prod'n ☐ Function  
☒ Top

Code: 13 Operation: sušení-propan

Database	Code	Operation name	Quantity	Unit
Fuel prod. core	4858	Propane use - CZ	3,60000	MJ

Add (+) Change (-) Delete Save Exit

Obr. 6

THE BOUSTEAD MODEL - Version 6.0 - [Editing Input Tables]

File Edit Calculate View Print Transfer Tools Graphics Window Help

This program amends the input table for an operation.

Database

☐ Mat'ls proc. ☐ Stand alone  
☐ Fuel prod'n ☐ Function  
☒ Top

Code: 14 Operation: vytvřování propan MJ

Database	Code	Operation name	Quantity	Unit
Fuel prod. core	4858	Propane use - CZ	10,80000	MJ

Add (+) Change (-) Delete Save Exit